

Lebenszyklusbasierte ökologische Kennwertentwicklung von Gebäudekonstruktionen im Alt- und Neubau zur Anwendung in 3D-Stadtmodellen

Christina Maria Meier-Dotzler

Vollständiger Abdruck der von der TUM School of Engineering and Design
der Technischen Universität München zur Erlangung einer
Doktorin der Ingenieurwissenschaften (Dr. Ing.)
genehmigten Dissertation.

Vorsitz: Prof. Dr. rer. nat. Thomas H. Kolbe

Prüfer*innen der Dissertation:

1. Prof. Dr.-Ing. Werner Lang
2. Prof. Dr.-Ing. Frank Petzold
3. Assistant Prof. Dr.-Ing. Alexander Hollberg

Die Dissertation wurde am 30 . 01 . 2023 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die TUM School of Engineering and Design am 22 . 06 . 2023
angenommen.



Christina Meier-Dotzler

ORCID:

<https://orcid.org/0000-0002-8701-5605>

„Werte haben nur einen Wert, wenn sie auch unser Handeln bestimmen.“

- Volksmund -

Zusammenfassung

Im Kampf gegen den Klimawandel stehen besonders wachsende Städte vor der Herausforderung die anvisierten Klimaschutzziele im Rahmen ihrer vorhandenen und zukünftigen Siedlungsstrukturen umzusetzen. Denn Städte verursachen weltweit 71 % der globalen CO₂-Emissionen und 80 % der weltweit produzierten Energie (Climate Service Center Germany GERICS und KfW Development Bank, 2015; UN Environment Programme, 2017). Vor diesem Hintergrund wird zur Erreichung der Klimaziele die ökologische Qualität der Wohngebäude und der Einfluss der Baumaterialien über ihren Lebenszyklus hinweg direkt benannt (UN Environment Programme, 2020). Deshalb werden fundierte Daten und digitale Planungswerkzeuge benötigt, mit denen Planende und Entscheidungsträger:innen die ökologische Qualität verschiedener baulicher Entwicklungsszenarien von Wohngebäuden vergleichen können. Dabei muss die Analyse in frühen Planungsphasen durchführbar und auf urbaner Maßstabsebene anwendbar sein, um die positiven Hebelwirkungen hin zu mehr Klimaschutz und weniger Ressourcenverbrauch im Bauwesen möglichst frühzeitig aktivieren zu können.

Zur Analyse potentieller Umweltwirkungen von Gebäuden hat sich national und international auf der Basis von Standardisierungen und Normen die ökologische Lebenszyklusanalyse (LCA) etabliert. Bisherige Studien belegen, dass mit Hilfe von ökologischen Kennwerten die ökologische Qualität von Bestands-, Neubau- und Sanierungsprojekten auf urbaner Ebene bewertet werden kann und Handlungsempfehlungen erarbeitet werden können. Ferner zeigt die Literaturrecherche, dass es dazu einer transparenten und detaillierten Datengrundlage bedarf, die eine LCA von der Bauteilschichtenebene bis hin zur Stadtebene oder nationalen Ebene ermöglicht. Hierzu sind räumliche Betrachtungen unter Verwendung von Daten aus GIS-Modellen zielführend. Kommerzielle oder wissenschaftliche Softwaretools, die mit Hilfe von räumlichen Gebäude- oder Stadtmodellen energetische oder ökologische Analysen von großen Wohngebäudebeständen ermöglichen, verfügen jedoch noch nicht über die Möglichkeit zur vergleichenden LCA verschiedener Alt-, Sanierungs- oder Neubauszenarien mit Fokus auf die Baukonstruktion. Entweder wurde die Methode noch nicht implementiert oder es fehlt an einer fundierten und transparenten Datenbasis.

Vor diesem Hintergrund werden in der vorliegenden Arbeit auf Basis der Datenbank ÖKO-BAUDAT, Version 2020-II ökologische Kennwerte für Baukonstruktionen des deutschen Wohngebäudebestandes entwickelt. Diese Kennwerte bieten eine transparente und baualtersklassenspezifische Datenbasis für die lebenszyklusbasierte Analyse minimaler und maximaler Umweltwirkungen von Baukonstruktionen in frühen Planungsphasen. Als maßgebende Indikatoren für die Quantifizierung des Einflusses auf den Klimawandel und den Ressourcenverbrauch werden das GWP, die PENRT und PET identifiziert. Auf dieser Grundlage ist eine vergleichende ökologische Lebenszyklusanalyse von Altbau-, Neubau- und Sanierungsmaßnahmen von nationalen Wohngebäuden möglich.

Um die ökologische Qualität des nationalen Wohngebäudebestandes und seine potentielle Entwicklung möglichst großflächig erfassen zu können, werden zudem Berechnungslogiken erarbeitet. In Kombination mit den Kennwerten und den aus 3D-Stadtmodellen (CityGML-Format, Version 2.0, LoD2) stammenden Gebäudeinformationen können mit Hilfe der Berechnungslogiken automatisierte und schnelle LCA verschiedener Bebauungsszenarien durchgeführt werden. Die Berechnungslogiken umfassen insgesamt fünf Quartiersentwicklungsszenarien (Status Quo, energetische Sanierung mit gleichbleibender Gebäudedekubatur, energetische Sanierung mit Nachverdichtung durch Aufstockung, Abriss und Ersatzneubau in Holz- oder Massivbauweise). Sie sind so beschrieben, dass sie in verschiedene Softwarelösungen implementiert werden können. Auf Grund der transparenten Beschreibung aller Grundlagen ist eine Aktualisierung der Datenbasis oder die Erweiterung um andere bauliche Entwicklungsszenarien jederzeit realisierbar.

Die Kopplung eines 3D-Stadtmodells mit der hier entwickelten LCA-Methode bewerkstelligt, dass sie leicht mit weiteren Analysemethoden und Anwendungsfeldern (wie z. B. der Freiflächen- und Mobilitätsplanung) verknüpft werden kann. Somit kann die interdisziplinäre und digitale Planung vorangetrieben werden. Die Anwendbarkeit der entwickelten Methode zur Durchführung einer LCA auf Quartiersebene mit Hilfe von 3D-Stadtmodellen im CityGML-Format 2.0 wird anhand eines Fallbeispiels aufgezeigt. Die Unsicherheiten der Methodik werden u. a. mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse benannt und diskutiert.

Die umfangreiche Fallstudie behandelt die bauliche Entwicklung eines Münchener Bestandsquartiers mit 181 Wohngebäuden. Sie zeigt, dass eine LCA verschiedener baulicher Entwicklungsszenarien von größeren Wohngebäudebeständen, wie Stadtquartieren, schnell durchführbar ist, und dass die Ergebnisse mit Hilfe verschiedener Visualisierungsmöglichkeiten zielgruppenorientiert und transparent diskutiert werden können. Aus den vorliegenden Ergebnissen werden Handlungsempfehlungen für Politik, Praxis und Forschung abgeleitet, die einen klimaneutralen nationalen Wohngebäudebestand zum Ziel haben. Aus ökologischer Sicht ist im Fallbeispiel eine Sanierung mit Nachverdichtung im Niedrigstenergiestandard einem Gebäudeabriss mit Ersatzneubau vorzuziehen. Die Fallstudie zeigt auch, dass eine klimaneutrale Bauausführung nur umgesetzt werden kann, wenn gleichzeitig Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale sowie Kompensationsmöglichkeiten aktiviert werden.

Die erarbeiteten Daten lassen neben der ökologischen Bewertung auch andere umfangreiche Analysen zu. Beispielhaft kann hier die Ermittlung des anthropogenen Lagers und die Massenermittlung, strukturiert nach einzelnen Baustoffgruppen, für Quartiere und Städte genannt werden. Ferner können auf Basis der detailliert beschriebenen Baukonstruktionen auch Kostenkennwerte entwickelt werden, die für eine Lebenszykluskostenanalyse (LCC) benötigt werden. Ein wichtiges Forschungsziel sollte die Weiterentwicklung und Optimierung digitaler Planungswerkzeuge auf Basis von 3D-Stadtmodellen sein. Denn so können zukünftig die Wechselwirkungen heterogener Stadtstrukturen im Kontext des Klimawandels und des Ressourcenverbrauchs besser erfasst und optimiert werden.

Abstract

At fighting against climate change, especially growing cities are faced with the challenge of implementing the targeted climate protection goals within the framework of their existing and future settlement structures. After all, cities are responsible for 71 % of the global CO₂ emissions and 80 % of the global energy production (Climate Service Center Germany GERICS und KfW Development Bank, 2015; UN Environment Programme, 2017). Against this background, the ecological quality of the residential buildings and the influence of the building materials over their life cycle are clearly stated in order to achieve the climate goals. Therefore, well-founded data and digital planning tools are needed with which planners and decision-makers can compare the ecological quality of different structural development scenarios of residential buildings. Here, the analysis must be feasible in early planning phases and applicable on a urban scale. This is needed to activate the positive effects towards a higher climate protection and less resource consumption in the construction industry as early as possible.

Life cycle assessment (LCA) has been established nationally and internationally on the basis of standards to analyse the potential environmental impacts of buildings. Previous studies show that the ecological quality of existing building, new construction and refurbishment projects can be evaluated at the city level with the help of ecological characteristic values. Also, recommendations for action can be developed. The literature research also shows that this requires a transparent and detailed database that enables an LCA from the component layer level to the city or national level. For this purpose, spatial considerations using data from GIS-models are expedient. However, commercial or scientific software tools, which enable energetic or ecological analyses of large residential building stocks with the help of spatial building or city models, do not yet have the option of comparative LCA of different existing, refurbished or new building scenarios focusing on the building construction. Either the method has not yet been implemented or there is no well-founded and transparent database.

Against this background, ecological characteristic values for building constructions of the German residential building stock are developed in the present work on the basis of the database ÖKOBAUDAT, Version 2020-II. These values offer a transparent and building-age-specific database for the life cycle-based analysis of minimum and maximum environmental values of building constructions in early planning phases. The GWP, PENRT and PET are identified as key indicators for quantifying the impact on climate change and resource consumption. On this basis, a comparative ecological life cycle assessment of various measures for existing, new and refurbished national residential buildings can be carried out.

To be able to determine the ecological quality of the national residential building stock and its development potentials as extensively as possible, calculation logics are developed.

The calculation logics allow, together with the characteristic values and the building information coming from 3D city models (CityGML format, version 2.0, LoD2), automated and fast LCA of various development scenarios. The calculation logics consider five district development scenarios (status quo, energy-efficient refurbishment with the same building volume, energy-efficient refurbishment with densification by adding one storey, demolition and replacement construction in wood or solid construction). They are described in such a way that they can be easily implemented in different software solutions. Due to the transparent description of all basics, the database can be updated and the structural development scenarios can be expanded at any time.

Linking the 3D city model with the developed LCA method means that it can be easily linked to other analysis methods and fields of application (e.g. open space and mobility planning). Thus, interdisciplinary and digital planning can be advanced. A case study is used to show the applicability of the developed method for carrying out an LCA at district level using 3D city models in CityGML format (version 2.0). The uncertainties of the method are e.g. named and discussed with the help of a sensitivity analysis.

The extensive case study covers the structural development of an existing Munich district with 181 residential buildings. It shows that a LCA of various structural development scenarios of larger residential building stocks, such as urban districts, can be carried out fast. The results can be discussed in a target group-oriented and transparent way with the help of various visualisation options. Recommendations for action for politics, practice and research towards a national climate-neutral residential building stock can be derived from the available results. According to the case study, from an ecological point of view, refurbishment with densification into a nearly zero energy standard is preferable to demolition and replacement. The case study also shows that climate-neutral construction can only be implemented if reuse and recycling potentials as well as compensation options are activated at the same time.

In addition to the ecological assessment, the developed data can also be used for other comprehensive analyses. For example, the data can help to describe the anthropogenic stock at district or city level. Also, the quantities of different building materials can be determined (mineral building materials, organic building materials, metal, glass, etc.) at district or city level. Based on the building constructions described in detail, cost values can also be developed, which are required for life cycle costing (LCC). An essential research goal should be the further development and optimisation of digital planning tools based on 3D city models. Thus, the interactions of heterogeneous urban structures in the context of climate change and resource consumption can be better captured and optimised in the future.

Dank

Die vorliegende Arbeit ist das Ergebnis meiner mehrjährigen interdisziplinären Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen der Technischen Universität München.

Ohne die Unterstützung meines beruflichen und privaten Umfeldes wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen. Ganz besonders herzlicher Dank geht an Prof. Dr.-Ing. Werner Lang. Als mein Doktorvater hat er mir stets das notwendige Vertrauen zur Erarbeitung dieser Dissertation entgegengebracht. Ich danke ihm für seine Offenheit bei der Themenfindung und die inspirierenden und wertvollen Gespräche. Herrn Prof. Dr.-Ing. Frank Petzold danke ich für die Bereitschaft, als Zweitbetreuer zur Verfügung zu stehen und für seine inhaltlichen und methodischen Anregungen. Ferner ergeht Dank an Herrn Asst. Prof. Dr.-Ing. Alexander Hollberg für seine Funktion als Drittgutachter sowie an Herrn Prof. Dr. rer. nat. Thomas H. Kolbe für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Besonderer Dank geht auch an alle Kolleg:innen des Lehrstuhls für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen für die wertvollen Gespräche und das einzigartige Miteinander in den vergangenen Jahren. Vor allem danke ich Daniel Kierdorf, Hannes Harter, Simone Matschi, Patricia Schneider-Marin und Sebastian Botzler, die mir nicht nur fachlich eine Stütze waren, sondern mich auch motiviert und privat bereichert haben. Auch meinem Mentor Michael Keltsch möchte ich herzlich für seine motivierenden Worte und den fachlichen Austausch danken.

Dank ergeht auch an die Landeshauptstadt München (Planungsreferat) und das Bayerische Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung. Sie haben mir die für die Fallstudie notwendigen Gebäudedaten unkompliziert zur Verfügung gestellt.

Zu guter Letzt, ein herzliches Dankeschön an meine Familie und Freunde für den notwendigen Ausgleich und die Bestärkungen, die Dissertation zu Ende zu führen. Meinen Eltern danke ich für ihre nie nachlassende Unterstützung und die Erziehung zu einem wissbegierigen Menschen. Ganz besonders danke ich aber meinem geliebten Ehemann Christian. Ohne seine jahrelange Unterstützung und große Geduld hätte ich es nicht geschafft, die Dissertation trotz der Geburt unserer wundervollen Kinder zu einem guten Ende zu bringen. Fritz, Paula und Martha, euch widme ich diese Arbeit. Ihr seid für mich die größte Motivation und mein ganzer Stolz.

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr (lat. anno)
ADE	Application Domain Extension
BGF	Bruttogrundfläche
BIM	Building Information Modeling; deutsch: Bauwerksdatenmodellierung; Methode zum digitalen und vernetzten Planen, Bauen und Bewirtschaften von Gebäuden und anderer Bauwerke mit Hilfe eines virtuellen Bauwerksmodells
BK	Baualtersklasse(n) (siehe Glossar) (engl.: BAC – Building Age Class)
BNB	Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen; Zertifizierungssystem des Bundes für die Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden (BMUB, o. J.)
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology; international verbreitetes Bewertungssystem für die Nachhaltigkeit von Infrastrukturen und Gebäuden; folgende Kriterien fließen in die Bewertung ein: Energie, Gesundheit, Innovation, Land- und Materialverbrauch, Management, Verschmutzung, Transport, Abfall und Wasser. (BRE, 2022)
BSH	Brettschichtholz
CityGML	City Geography Markup Language (siehe Glossar)
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen; sie stellt ein gleichnamiges Zertifizierungssystem zur Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden, Innenräumen und Quartieren zur Verfügung. (DGNB, 2021)
EFH	Einfamilienhaus
EnEV	Energieeinsparverordnung
EoL	End-of-Life
EPD	Environmental Product Declaration; deutsch: Umweltproduktdeklaration; Eine EPD enthält auf Basis der DIN EN 15804:2020-03 quantifizierte Umweltinformationen für ein Bauprodukt oder eine -leistung. Diese bauprodukt-spezifischen Umweltinformationen können im Rahmen einer Ökobilanz zur Beurteilung von Gebäuden und anderer Bauwerke hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen herangezogen werden.
EU	Europäische Union
FFA	Fensterflächenanteil(e)

GEG	Gebäudeenergiegesetz, seit 1.11.2020 gültig; ersetzt die bisher gültige EnEV, das Energieeinsparungsgesetz (EnEG) und das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG). (Deutscher Bundestag, 2020)
GIS	Geoinformationssystem; englisch: Geo Information System; System zur Erfassung, Bearbeitung, Organisation, Analyse und Präsentation räumlicher Daten
GKF-Platte	Gipskartonfeuerschutz-Platte
GOK	Geländeoberkante – Schnittlinie zwischen Erdoberfläche und Außenfläche eines Gebäudes
GWP	Global Warming Potential; deutsch: Treibhausgaspotential; Einheit: kg CO ₂ -Äquivalent (siehe Glossar)
i. M.	im Mittel (arithmetischer Mittelwert)
KEA	Kumulierter Energieaufwand (siehe Glossar)
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KVH	Konstruktionsvollholz
LCA	Life Cycle Assessment(s); Synonym für ökologische Lebenszyklusanalyse(n) oder Ökobilanzierung(en) (siehe Glossar)
LCC	Life Cycle Costing; Synonym für Lebenszykluskostenanalyse(n)
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design des U.S. Green Building Council ist ein international verbreitetes Gebäudezertifizierungssystem; bewertet werden Gesundheitsaspekte, die Energieeffizienz, Ökologie und Ökonomie eines Gebäudes. (U.S. Green Building Council, 2022)
LfDBV	Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung
LHM	Landeshauptstadt München
LoD	Level of Detail
LOD	Level of Development
LZPH	Lebenszyklusphase(n)
MFH	Mehrfamilienhaus
NGF	Nettogrundfläche (gleichbedeutend mit NRF; wird ebenfalls in der Literatur verwendet)
NRF	Nettoraumfläche nach DIN 276:2018-12
OSB	Oriented Strand Board

PET	Primary Energy Total; deutsch: gesamte Primärenergie; Einheit MJ, kWh oder MWh (siehe Glossar)
PENRT	Primary Energy Non-Renewable Total; deutsch: gesamte nicht erneuerbare Primärenergie; Einheit MJ, kWh oder MWh (siehe Glossar)
PERT	Primary Energy Renewable Total; deutsch: gesamte erneuerbare Primärenergie; Einheit MJ, kWh oder MWh (siehe Glossar)
SQL	Structured Query Language
WDVS	Wärmedämmverbundsystem
WFL	Wohnfläche
ZFH	Zweifamilienhaus

Glossar

3D-Stadtmodell	Virtuelles, dreidimensionales (räumliches) Stadtmodell; detaillierte Beschreibung siehe Kapitel 2.5, Seite 33.
Altbaukonstruktion	Siehe „Bestandskonstruktion“
Baualtersklasse	Typisch vorherrschende Bauweisen einer Epoche können einer gemeinsamen Baualtersklasse zugeordnet werden. Hierbei wird das Jahr der Errichtung des Gebäudes berücksichtigt. In dieser Arbeit werden insgesamt elf Baualtersklassen definiert, die durch geschichtliche, wirtschaftliche oder energetische Eigenschaften geprägt wurden (siehe Kapitel 2.3, Seite 21).
Bauteil	Ein Bauteil ist die Zusammensetzung von Bauteilschichten/-komponenten; entspricht der zweiten Ebene der DIN 276:2018-12 (z. B. KG 330 „Außenwände/Vertikale Baukonstruktionen außen“). In dieser Arbeit werden Dächer, Außenwände, Innenwände, Kellerwände, Gebäudetrennwände, Geschossdecken, Bodenplatten, Fundamente und Fenster in ihrer Gesamtheit als Bauteile bezeichnet.
Bauteilkomponente	Eine Bauteilkomponente besteht aus einer oder mehreren Schicht/en eines Bauteils und entspricht der dritten Ebene der DIN 276:2018-12 (z. B. KG 335 „Außenwandbekleidungen außen“).
Bestandskonstruktion	Als Bestandskonstruktion werden Baukonstruktionen bezeichnet, die von vor 1918 bis einschließlich 2020 errichtet bzw. umgesetzt wurden. Die Bestandskonstruktionen werden in dieser Dissertation verschiedenen Baualtersklassen (s. o.) zugeteilt.
BIM-Modell	Ein digitales Abbild eines Bauwerks wird als BIM-Modell bezeichnet. Es umfasst die dreidimensionale Geometrie der Bauwerkselemente in einem definierten Detaillierungsgrad (LoD) oder Ausarbeitungsgrad (LOD). Auch nicht-physische Objekte und eine hierarchische Projektstruktur sind Teil des Modells. (Borrmann et al., 2021) Um mit Hilfe eines BIM-Modells und der in dieser Arbeit entwickelten ökologischen Kennwerte eine LCA in frühen Planungsphasen durchführen zu können, müssen die Flächen der Bauteile (s. o.) zumindest als Schätzung vorliegen. Eine Schätzung der Breite, Höhe und Tiefe von Bauteilen liegt i. d. R. im LOD 200 vor.

CityGML	CityGML ist ein XML-Format mit einer einheitlichen Datenstruktur zur Speicherung und zum Austausch virtueller semantischer 3D-Stadtmodelle und wurde vom Open Geospatial Consortium entwickelt (OGC, 2022) (siehe auch Kapitel 2.5, Seite 33).
CO ₂ -Äquivalent	Maßeinheit zur Vereinheitlichung der Klimawirkung der unterschiedlichen Treibhausgase
CO ₂ -Emissionen	Der Begriff beschreibt in dieser Arbeit neben dem CO ₂ auch andere Treibhausgase, die zum sogenannten Treibhauseffekt beitragen und kann mit dem Begriff THG-Emissionen gleichgesetzt werden.
Digitaler Zwilling	Ein digitaler Zwilling ist eine digitale Repräsentanz von Gegenständen der realen Welt. Er können physische und nicht-physische Objekte beschreiben. Dazu stellt er alle relevanten Informationen und Dienste mittels einer einheitlichen Schnittstelle zur Verfügung. Ein digitaler Zwilling muss in der Realität noch nicht zwangsweise vorhanden sein, sollte aber alle Eigenschaften besitzen, die der Gegenstand in der späteren Realität haben wird. (Kuhn, 2017)
Ersatzneubau	Von einem Ersatzneubau wird hier gesprochen, wenn ein Bestandsgebäude abgerissen und anschließend an gleicher Stelle ein Neubau errichtet wird.
Frühe Planungsphase(n)	Die frühe Planungsphase bei Bauprojekten bezieht sich hier auf die Leistungsphasen 1 bis 3 der HOAI (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure) – Grundlagenermittlung, Vorplanung und Entwurfsplanung.
GIS-Modell	In dieser Arbeit wird der Begriff als Synonym für ein 3D-Stadtmodell verwendet, das georeferenzierte Daten enthält (siehe Beschreibung „3D-Stadtmodell“).
Graue Energie	Als Graue Energie wird in dieser Arbeit die gesamte Primärenergie (PET) bezeichnet, die während den Lebenszyklusphasen Herstellung, Nutzung und Entsorgung von Baukonstruktionen und ihrer Materialien in Anspruch genommen wird.
Graue Emissionen	Als Graue Emissionen wird in dieser Arbeit das Treibhausgaspotential (GWP) bezeichnet, das bei den Lebenszyklusphasen Herstellung, Nutzung und Entsorgung der Baukonstruktionen und ihrer Materialien freigesetzt wird.

GWP (Global Warming Potential)	Das globale Treibhaus- oder Erwärmungspotential – engl. Global Warming Potential – ist der mögliche Beitrag eines Stoffes zur Erwärmung der bodennahen Luftschichten, d. h. zum so genannten Treibhauseffekt in einem Zeitraum von 100 Jahren und wird relativ zum Treibhauspotential von CO ₂ (kg CO ₂ -Äquivalent) angegeben (BMUB, 2015; DIN EN 15804:2020-03, Tabelle C.8).
Indikatoren	Synonym für „Umweltindikatoren“; siehe Beschreibung
Neubau	Bei Neubauten handelt es sich um Gebäude, die nach 2021 auf einer Freifläche errichtet werden.
Neubaukonstruktion	Als Neubaukonstruktion werden hier Baukonstruktionen bezeichnet, die auf Basis der gängigen Praxis ab 2021 baulich umgesetzt werden.
KfW-55-Standard	Der Begriff wird in der vorliegenden Arbeit stellvertretend für den Effizienzhausstandard 55 der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) verwendet. Die Effizienzhaus-Stufe 55 bedeutet dabei, dass der Jahresprimärenergiebedarf des Gebäudes nur 55 % des im GEG geforderten Referenzgebäudes beträgt. Der Transmissionswärmeverlust darf dabei maximal 70 % des Referenzgebäudes betragen. (Deutscher Bundestag, 2020; KfW, 2021)
Kumulierter Energieaufwand (KEA)	Der Kumulierte Energieaufwand (kurz: KEA) gibt die Gesamtheit des primärenergetisch bewerteten Aufwandes an, der im Zusammenhang mit der Herstellung, Nutzung und Beseitigung eines Produktes oder einer Dienstleistung entsteht bzw. dieser ursächlich zugewiesen werden kann. Er setzt sich dementsprechend aus den kumulierten Energieaufwendungen für die Herstellung (KEAH), für die Nutzung (KEAN) und für die Entsorgung (KEAE) zusammen. (Gruhler et al., 2002, S. 12)
ÖKOBAUDAT	Die ÖKOBAUDAT ist eine Online-Datenbank mit vereinheitlichten Datensätzen zu Baumaterialien, Bau-, Transport-, Energie- und Entsorgungsprozessen für die Ökobilanzierung von Bauwerken (BBSR, o. J.).
Ökobilanzierung	Synonym für LCA (engl. Life Cycle Assessment) oder ökologische Lebenszyklusanalyse; eine Ökobilanz ist eine Methode zur Zusammenstellung und Beurteilung der stofflichen und energetischen Input-, Betriebs- und Outputflüsse sowie der potentiellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebenswegs (DIN EN ISO 14044:2021-02, Abschnitt 3.2).

Ökologische Kennwerte	Als ökologische Kennwerte werden in dieser Arbeit die ermittelten bauteiltypischen Umweltwirkungen bezeichnet. Bei den Umweltwirkungen unterscheidet man zwischen drei wesentlichen Indikatoren, dem GWP, PENRT und PET (siehe Begriffsbeschreibungen bzw. „Umweltindikatoren“).
PET (Primary Energy Total)	Die gesamte Primärenergie – engl. Primary Energy Total – ist die Summe aus gesamter erneuerbarer und gesamter nicht erneuerbarer Primärenergie. Sie wird in MJ (Megajoule), kWh (Kilowattstunden) oder MWh (Megawattstunden) ausgewiesen.
PERT (Primary Energy Renewable Total)	Die gesamte erneuerbare Primärenergie – engl. Primary Energy Renewable Total – ist die Summe der Primärenergie und der als Rohstoff verwendeten erneuerbaren Primärenergieträger (energetische und stoffliche Nutzung) (DIN EN 15804:2020-03, Tabelle 4). Sie wird in MJ (Megajoule), kWh (Kilowattstunden) oder MWh (Megawattstunden) ausgewiesen.
PENRT (Primary Energy Non-Renewable Total)	Die gesamte nicht erneuerbare Primärenergie – engl. Primary Energy Non-Renewable Total – ist die Summe der Primärenergie und der als Rohstoff verwendeten nicht erneuerbaren Primärenergieträger (energetische und stoffliche Nutzung) (DIN EN 15804:2020-03, Tabelle 4). Die Energie stammt aus einer Quelle, die durch die Nutzung erschöpft wird (DIN EN 15643:2021-12). Sie wird in MJ (Megajoule), kWh (Kilowattstunden) oder MWh (Megawattstunden) ausgewiesen.
Sanierung	Eine Sanierung ist die Veränderung und Verbesserung eines bestehenden Gebäudes mit dem Ziel, dieses in einen annehmbaren Zustand zu versetzen. In der vorliegenden Arbeit zielt eine Sanierung auf die Erreichung eines aktuellen Niedrigstenergiestandards ab. D. h., dass die Bauteile nach der Sanierung eine definierte Dämmqualität besitzen, die durch die Begrenzung des U-Wertes erreicht wird.
Satz von Bayes	Der Satz von Bayes beschreibt den Fall einer bedingten Wahrscheinlichkeit. Darunter versteht man die Wahrscheinlichkeit, dass ein Ereignis A unter der Bedingung eintritt, ein Ereignis B sei eingetreten oder trete ein. Dabei ist das Ereignis A unabhängig von Ereignis B. Das Eintreten von A ändert also die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten von B nicht und umgekehrt. (Tschirk, 2014, S. 12-13)

Umwelt(aus)wirkung	Eine Umwelt(aus)wirkung ist das Ergebnis einer Veränderung der Umwelt, unabhängig davon, ob sie sich günstig, neutral oder schädlich auswirkt, die ganz oder teilweise von Umweltaspekten, wie von Bauwerken, zusammengesetzten Bauteilen oder Prozessen, verursacht wird (DIN EN 15643:2921-12).
Umweltindikatoren	In der ÖKOBAUDAT werden verschiedene Indikatoren zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes bzw. der Umweltwirkungen von einzelnen Baumaterialien verwendet. Diese Arbeit nimmt dabei speziell Bezug auf das GWP, PENRT und PET. Die sonstigen Indikatoren bleiben unberücksichtigt.
U-Wert	Der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert; Einheit W/m^2K) ist ein Maß für die Dämmqualität eines Bauteils; der U-Wert gibt die Wärmemenge an, die pro Zeiteinheit durch $1 m^2$ Bauteil bei einem Temperaturunterschied von $1 K$ hindurchgeht.
Wärmeleitfähigkeit	Die Wärmeleitfähigkeit λ (Einheit: W/mK) gibt den Wärmestrom an, der bei einem Temperaturunterschied von $1 Kelvin (K)$ durch eine $1 m^2$ große und $1 m$ dicke Schicht eines Stoffes geht. Je kleiner λ ist, umso besser ist das Dämmvermögen des Stoffes.
Visualisierung/ Ergebnisvisualisierung	In dieser Arbeit versteht man unter den Begriffen Visualisierung bzw. Ergebnisvisualisierung die Sichtbarmachung der LCA-Ergebnisse in textlicher oder grafischer Form. Neben konventionellen grafischen Darstellungen via Balkendiagrammen, Violin Plots oder Spinnennetzdiagrammen, gehören zu den Visualisierungsmöglichkeiten auch Infografiken, in denen textliche und grafische Darstellungen kombiniert werden. Die Ergebnisse können auch abstrahiert (vereinfacht) visualisiert werden, indem die verschiedenen Umweltwirkungen einheitlich über Umweltkosten dargestellt werden. Zielgruppen der hier genannten Visualisierungen sind Planende mit und ohne Expertenwissen, Entscheidungsträger:innen aus Politik und Wirtschaft oder die Bevölkerung.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	III
Abstract	V
Dank	VII
Abkürzungsverzeichnis	IX
Glossar	XIII
Inhaltsverzeichnis	XIX
1 Einleitung	1
1.1 Hintergrund	1
1.2 Problemstellung und Motivation.....	3
1.3 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit.....	5
1.3.1 Zielsetzung und Forschungshypothese.....	5
1.3.2 Abgrenzung der Arbeit.....	6
1.3.3 Vorgehensweise	7
1.4 Zusammenfassung Kapitel 1	9
2 Grundlagen, Stand der Technik und Forschung	11
2.1 Ökobilanzierung von Gebäuden	11
2.1.1 Normative Grundlagen und Entwicklung.....	11
2.1.2 Datenbanken	14
2.1.3 Verbreitung der Methode.....	16
2.1.4 Indikatoren	17
2.2 Gebäudetypologien des Wohnbestandes.....	18
2.2.1 Deutsche Gebäudestatistiken.....	18
2.2.2 Deutscher Wohngebäudebestand	19
2.2.3 Staatliche Vorgaben zur Erhebung von Wohngebäuden	19
2.3 Baualtersklassen.....	21
2.3.1 Baualtersklasse 1 – bis 1918.....	21
2.3.2 Baualtersklasse 2 – 1919 bis 1948.....	22
2.3.3 Baualtersklasse 3 – 1949 bis 1957.....	22
2.3.4 Baualtersklasse 4 – 1958 bis 1968.....	22
2.3.5 Baualtersklasse 5 – 1969 bis 1978.....	23
2.3.6 Baualtersklasse 6 – 1979 bis 1983.....	23
2.3.7 Baualtersklasse 7 – 1984 bis 1994.....	23
2.3.8 Baualtersklasse 8 – 1995 bis 2001.....	23

2.3.9	Baualtersklasse 9 – 2002 bis 2009.....	24
2.3.10	Baualtersklasse 10 – 2010 bis 2015.....	26
2.3.11	Baualtersklasse 11 – 2016 bis 2020.....	26
2.4	Typische Bauteilaufbauten.....	28
2.4.1	Atlas Sanierung.....	28
2.4.2	Deutschlandkarte für Altbaukonstruktionen.....	29
2.4.3	Stofflich-energetische Gebäudesteckbriefe und Bauwerksdatenbank.....	30
2.4.4	Fensterstudie.....	31
2.4.5	Ergänzende Recherchen und Annahmen.....	31
2.5	Definition, Aufbau und Verwendung von 3D-Stadtmodellen.....	33
2.6	Sensitivitätsanalyse.....	36
2.6.1	Sensitivitätsanalysen bei der LCA.....	36
2.6.2	Monte Carlo als Methode bei Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen.....	37
2.7	Ökologische Kennwerte für Baukonstruktionen.....	39
2.7.1	Internationale Studien zu Wohngebäuden.....	39
2.7.2	Nationale Studien zu Wohngebäuden.....	40
2.7.3	Deutsche Benchmarks für Bestands- und Neubauten.....	42
2.8	LCA-Studien zum Gebäudebestand.....	44
2.9	Tools zur Bewertung des Gebäudebestandes mit Hilfe räumlicher Gebäudemodelle.....	45
2.9.1	Tools zur Bewertung des Nutzenergiebedarfs auf Quartiersebene.....	47
2.9.2	Tools zur LCA auf Quartiersebene.....	47
2.9.3	LCA-Tool zur Bewertung der TGA, Energiebedarfe und Heizlast auf Quartiersebene.....	48
2.9.4	Tool zur Bewertung von Nachverdichtungsmaßnahmen.....	49
2.9.5	Weitere räumliche Planungstools.....	49
2.10	Zusammenfassung Kapitel 2.....	51
3	Entwicklung ökologischer Kennwerte.....	53
3.1	Methodik.....	53
3.2	Bewertungsgrundlagen.....	54
3.2.1	Bewertungsziel.....	54
3.2.2	Systemgrenzen.....	54
3.3	Ermittlung Altbaukonstruktionen.....	59
3.3.1	Datenerhebung opaker Bauteile bis BK 8.....	59
3.3.2	Datenerhebung opaker Bauteile von BK 9 bis BK 11.....	61
3.3.3	Bezugsgrößen.....	66

3.3.4	Datenerhebung Fenster.....	67
3.3.5	Zusammenstellung der erhobenen Altbaukonstruktionen	69
3.4	Ermittlung Neubaukonstruktionen.....	72
3.4.1	Datenerhebung opake Bauteile und Fenster.....	72
3.4.2	Zusammenstellung der erhobenen Neubaukonstruktionen.....	74
3.5	Ermittlung Sanierungskonstruktionen	76
3.5.1	Ermittlung der maßgebenden Altbaukonstruktionen	76
3.5.2	Datenerhebung opake Bauteile	78
3.5.3	Datenerhebung Fenster.....	81
3.5.4	Zusammenstellung der erhobenen Sanierungskonstruktionen	81
3.6	Auswahl und Erstellung ökologischer Datensätze.....	84
3.7	Bilanzierung der Konstruktionen und Datenaufbereitung	87
3.7.1	Allgemeine Vorgehensweise bei der Datenaufbereitung	87
3.7.2	Bilanzierung und Darstellung der Altbaukonstruktionen.....	89
3.7.3	Bilanzierung und Darstellung der Neubaukonstruktionen	93
3.7.4	Bilanzierung und Darstellung der Sanierungskonstruktionen.....	94
3.8	Diskussion der Methodik und Ergebnisse.....	96
3.8.1	Kritische Auseinandersetzung mit der Erhebungsmethodik.....	96
3.8.2	Aus der Entsorgung von Altbaukonstruktionen resultierende Umweltwirkungen	97
3.8.3	Aus dem Neubau resultierende Umweltwirkungen	98
3.8.4	Maßgebende Bauteile im Neubau – minimale und maximale Umweltwirkungen	100
3.8.5	Aus der Sanierung resultierende Umweltwirkungen	101
3.9	Empfehlungen zur Verwendung der Ergebnisse	104
3.10	Zusammenfassung Kapitel 3	105
4	LCA mit Hilfe von 3D-Stadtmodellen	107
4.1	Methodik der LCA auf Quartiersebene	107
4.2	3D-Stadtmodell – Datenstruktur und Gebäudeinformationen.....	109
4.3	Nutzerspezifische Annahmen zur Bauteilflächengenerierung	113
4.3.1	Fensterflächen	113
4.3.2	Innenwandflächen.....	114
4.3.3	Fundamentflächen	114
4.3.4	Geschossdeckenflächen.....	115
4.3.5	Gebäudetrennwandflächen über GOK	115
4.3.6	Anzahl der Geschosse unter GOK	116

5.5.1	Spinnennetzdiagramme.....	171
5.5.2	Umweltkosten	174
5.5.3	Baumwachstum	175
5.6	Diskussion der Fallstudie	177
5.6.1	Ergebnisvergleich mit anderen Publikationen	177
5.6.2	Kritische Würdigung der Fallstudienresultate	179
5.6.3	Umgang mit Gutschriften und dem zukünftigen Einfluss der Baukonstruktion im Lebenszyklus	180
5.6.4	Fallstudien-spezifische Handlungsempfehlungen	181
5.7	Zusammenfassung Kapitel V	183
6	Zusammenfassung, Fazit und Ausblick	185
6.1	Zusammenfassung und Fazit.....	185
6.1.1	Verifizierung der Forschungshypothese	185
6.1.2	Wesentliche Erkenntnisse und Potentiale der Arbeit	186
6.1.3	Kritische Würdigung der Gesamtergebnisse	189
6.2	Ausblick und Empfehlungen	192
6.2.1	Relevanz und Empfehlungen für die Politik.....	192
6.2.2	Relevanz und Empfehlungen für die Praxis	193
6.2.3	Relevanz und Empfehlungen für die Wissenschaft.....	196
6.2.4	Schlussbemerkung	198
	Abbildungsverzeichnis	199
	Tabellenverzeichnis	203
	Literaturverzeichnis	209
A	Anhang.....	229
A.1	U-Werte für Alt-, Neubau- und Sanierungskonstruktionen.....	229
A.2	Bilanzierte Altbaukonstruktionen.....	232
A.3	Bilanzierte Neubaukonstruktionen.....	296
A.4	Bilanzierte Sanierungskonstruktionen	311
A.5	Übersicht zu den verwendeten Datensätzen je Material	376
A.6	Übersichtstabellen über die baualtersspezifischen Umweltwirkungen je Altbaukonstruktion	399
A.7	Übersichtstabellen über die Umweltwirkungen je Neubaukonstruktion.....	439
A.8	Übersichtstabellen über die baualtersspezifischen Umweltwirkungen je Sanierungskonstruktion.....	450
A.9	Berechnungslogiken der Bauteilflächen für die LCA auf Quartiersebene.....	469

A.10 Berechnungslogiken der ökologischen Kennwerte für die LCA auf Quartiersebene	
.....	488

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

„Der Klimawandel ist die größte globale Gesundheitsbedrohung des 21. Jahrhunderts“ (Horton, 2009). Dieses Zitat verdeutlicht die Notwendigkeit, den fortschreitenden Klimawandel aufzuhalten. Dabei muss schnell und effizient vorgegangen werden, denn die bisher ergriffenen Maßnahmen reichen noch nicht aus, um das Pariser Klimaabkommen zu erreichen: Im Jahr 2019 ist der Treibhausgasausstoß für die Gebäudenutzung erneut angestiegen anstatt nach den definierten Zielen zu sinken (UN Environment Programme, 2020, S. 3-4).

Städte verursachen mindestens 71 % der globalen CO₂-Emissionen und verbrauchen bis zu 80 % der weltweit produzierten Energie, wobei Gebäude und Transportsysteme die maßgeblichen Faktoren sind (Climate Service Center Germany GERICS und KfW Development Bank, 2015; UN Environment Programme, 2017).

Der Bausektor allein ist für 35 % des weltweiten Endenergieverbrauchs und für 38 % des weltweiten CO₂-Emissionsausstoßes verantwortlich. Allein 10 % der globalen CO₂-Emissionen gehen auf die Herstellung von Baumaterialien wie Stahl, Zement oder Glas zurück. Deshalb weist das Environment Programme der Vereinten Nationen im jährlichen Status Report auf die Schlüsselrolle des Bausektors im Kampf gegen den Klimawandel hin. Neben dem Einfluss des betrieblichen Energieverbrauchs benennt der Bericht sowohl den lebenszyklusbasierten Materialeinsatz als auch die Kreislaufwirtschaft als Stell-schrauben für die Erreichung der Klimaziele. (UN Environment Programme, 2020, S. 3-4)

Der Einfluss der lebenszyklusbasierten Energieverbräuche und CO₂-Emissionen von Gebäuden und ihrer Baukonstruktionen wird auch an anderer Stelle erkannt. Insbesondere, wenn der betriebliche Energieverbrauch bei Niedrigstenergiegebäuden deutlich reduziert wird. Mahler, Idler und Gantner (2019, S. 18) zeigen in einer Studie zu typischen, hochgedämmten deutschen Wohngebäudeneubauten im EnEV-2016- bzw. Passivhausstandard, dass der Anteil der Baukonstruktion an den gesamten lebenszyklusbasierten Treibhausgasemissionen durchschnittlich bis zu 30 % beträgt.

Somit besteht Handlungsbedarf, der seitens der deutschen Bundesregierung erkannt und mit der aktuellen Novelle des Klimaschutzgesetzes (KSG) verbindlich festgelegt wurde (Deutscher Bundestag, 2019). Bis 2040 muss der Treibhausgasausstoß im Vergleich zu 1990 um 88 % reduziert werden. Bis 2045 soll in Deutschland die Klimaneutralität erreicht werden. So ist es auch im aktuellen Koalitionsvertrag der Bundesregierung festgeschrieben (SPD et al., 2021). Abbildung 1-1 zeigt, dass diese Herausforderung durch die sukzessive Reduktion der Jahresemissionsmengen bewältigt werden soll. Von 2020 bis 2030 müssen

1.1 Hintergrund

die Jahresemissionen von Gebäuden jährlich um ca. 4,3 % auf 67 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente reduziert werden. (BMUV, 2021)

Mit der Berücksichtigung der Rolle der Städte ergibt sich die Frage, mit welchen Methoden und Werkzeugen die Politik, Planende und andere Entscheidungsträger:innen die Emissionen und Energieverbräuche der Städte und ihrer Gebäude großflächig berechnen und bewerten können. Sie müssen befähigt werden, wirksame Maßnahmen zur Erreichung der Klimaneutralität ergreifen zu können.

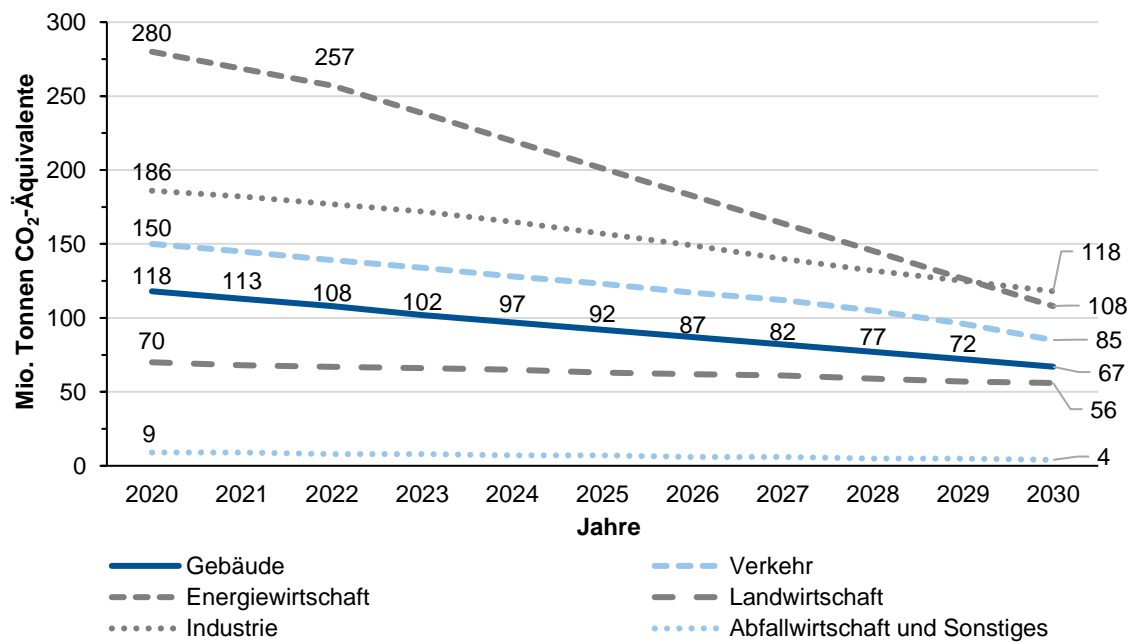


Abbildung 1-1: Das neue Klimaschutzgesetz: Jahresemissionsmengen nach Bereichen bis 2030; eigene Darstellung nach BMUV (2021)

Parallel benötigen Planende Methoden und Handlungsempfehlungen, um Neubauten so gestalten zu können, dass sie als Bestandsgebäude auch im Jahr 2045 klimaneutral sind. Bei Gebäudesanierungen muss die Klimaneutralität bereits jetzt berücksichtigt werden, denn bei Sanierungszyklen von 20 bis 30 Jahren nehmen die aktuell ergriffenen Maßnahmen noch im Jahr 2045 Einfluss auf die Klimaneutralität der Gebäude.

1.2 Problemstellung und Motivation

Besonders wachsende Städte und Metropolregionen, wie Berlin, Frankfurt am Main oder München stehen vor der Herausforderung, die anvisierten Klimaschutzziele im Rahmen ihrer vorhandenen und zukünftigen Siedlungsstrukturen umzusetzen (Statista, 2021). Beispielsweise hat die Landeshauptstadt München diese Aufgabe erkannt und einen Maßnahmenplan zur Erreichung ihrer Klimaneutralität bis 2035 erstellt (Timpe et al., 2021).

Für die Umsetzung eines deutschlandweit klimaneutralen Gebäudebestandes 2045 müssen die kommunalen Entscheidungsträger:innen und Planenden maßgebende Stellschrauben identifizieren. Wohngebäude nehmen hierbei eine wichtige Rolle ein: Mit einer Anzahl von 19.376.000 (Stand 2021) charakterisieren sie rund 48 % des deutschen Gebäudebestandes (im Vergleich Anzahl der Nichtwohngebäude: 21.124.000 ± 445.000). Berücksichtigt man nur die GEG-relevanten, beheizten oder gekühlten Nichtwohngebäude mit einer Anzahl von 1.981.000 ± 152.000 Gebäuden, wird die Rolle der Wohngebäude besonders deutlich. Demnach dominieren die Wohngebäude mit ca. 91 % den energierelevanten deutschen Gebäudebestand. (Hörner et al., 2021; Statista, 2022b)

40 % der Wohngebäudebestände sind älter als 40 Jahre und weisen somit einen hohen Sanierungsbedarf, der vor allem den betrieblichen Energieverbrauch und einhergehende CO₂-Emissionen der Gebäude sinken lässt, auf (Statista, 2020). Global betrachtet verursachen Wohngebäude 22 % des Endenergieverbrauchs und 17 % der globalen CO₂-Emissionen im Bausektor (UN Environment Programme, 2020, S. 4).

All dies macht deutlich, wie wichtig die Analyse und Optimierung des Wohngebäudebestands ist. Vor allem, wenn gleichzeitig die Datengrundlagen für Wohngebäude ausreichend sind, um darauf aufbauend nähere ökologische Untersuchungen durchführen zu können (Cischinsky und Diefenbach, 2018; Diefenbach et al., 2010).

Um die vereinbarten Energie- und Klimaschutzziele im Wohnungsbau erreichen zu können, wurde von der Bundesregierung das Gebäudeenergiegesetz (GEG) verabschiedet und die Bundesförderung für effiziente Gebäude – Wohngebäude (BEG WG) – etabliert (BMW, 2021; Deutscher Bundestag, 2020). In der BEG WG wird auf die Förderung der Nachhaltigkeitsaspekte und Digitalisierungsmaßnahmen hingewiesen. Neben der Betriebsphase von Gebäuden sollen künftig die Treibhausgasemissionen aus der Herstellungsphase und der Lebenszyklusansatz noch stärker berücksichtigt werden. Ermöglicht werden soll dies durch die Einführung von Effizienzhaus-Nachhaltigkeits-Klassen. (BMW, 2021, S. 1)

Die BEG-Richtlinie benennt klar den Bedarf an lebenszyklusbasierten Nachhaltigkeitsbewertungen von Gebäuden, wie sie zuvor schon seitens anderer Institutionen gefordert wurde (Mahler, Idler und Gantner, 2019; Mahler, Idler, Nusser und Gantner, 2019, S. 124; WWF Deutschland, 2019, S. 5). Das erhöht den Druck auf die Kommunen, geeignete Methoden für eine großflächige ökologische Bewertung ihrer derzeitigen und künftigen heterogenen Siedlungsstrukturen zu finden.

Auf dem Weg zur Klimaneutralität benötigen die Kommunen demnach zwei wesentliche Werkzeuge: zum einen eine umfassende Datenbank mit Kennwerten über die Umweltwirkungen und Energieverbräuche während des Lebenszykluses eines Gebäudes und zum anderen digitale Werkzeuge, die eine schnelle ökologische Analyse großflächiger und heterogener Bebauungsstrukturen ermöglicht. Nur so können geeignete Konzepte für Gebäudekomponenten, wie der Baukonstruktion, zur Erreichung der Klimaneutralität erarbeitet werden.

Die Umweltwirkungen sowie Energie- und Ressourcenverbräuche von Gebäuden, die während ihrer Herstellung, Nutzung und Entsorgung verursacht werden, können mit Hilfe einer Ökobilanzierung erfasst werden (engl. Life Cycle Assessment, kurz: LCA). Die Methode ist nach DIN EN ISO 14040:2021-02, DIN EN ISO 14044:2021-02 und DIN EN 15978:2012-10 international standardisiert. Zwar ermöglichen Zertifizierungssysteme wie die des DGNB eine Betrachtung auf Quartiersebene, dennoch gestaltet sich die Anwendung ohne digitale Werkzeuge zeitintensiv (DGNB, 2021). Zudem existiert bisher in Deutschland keine aktuelle und einheitliche Datenbasis, welche die ökologische Qualität des Wohngebäudebestandes und seiner Baukonstruktionen ausreichend erfasst. Die unterschiedlichen baukonstruktiven Eigenschaften von Altbau-, Neubau- und Sanierungskonstruktionen und ihrer Umweltwirkungen müssen mit Hilfe vorhandener Gebäudetypologien strukturiert werden, damit vergleichende Ökobilanzierungen durchgeführt werden können.

Digitale, georeferenzierte, semantische 3D-Stadtmodelle bieten mehrere Vorteile bei der Analyse von vorhandenen Bebauungsstrukturen und ihren Entwicklungsmöglichkeiten. Sie liefern z. B. großflächige Informationen über bestehende Gebäudegeometrien und Infrastrukturen. Dadurch ermöglichen sie interdisziplinäre Betrachtungen, die gerade bei der Beantwortung einer klimaneutralen Zukunft erforderlich sind. Ferner können verschiedene Entwicklungsszenarien untersucht und die Ergebnisse grafisch visualisiert werden. Die Potentiale der 3D-Stadtmodelle sind in der Planungspraxis jedoch noch nicht ausreichend bekannt. Die aktuellen Datenstrukturen müssen kommuniziert und mit weiteren Daten angereichert werden, damit sie zukünftig mehr Anwendung finden können. Auch die LCA auf Quartiersebene kann durch die Verwendung von semantischen 3D-Stadtmodellen unterstützt werden. Baualterstypische Eigenschaften der Baukonstruktion können erarbeitet und mittels digitaler Planungstools mit diversen geometrischen Eigenschaften (wie z. B. Bauteilflächen) der 3D-Stadtmodelle verknüpft werden. So können verschiedene Entwicklungsszenarien einzelner Siedlungsstrukturen in frühen Planungsphasen schnell miteinander verglichen und optimierte Bauausführungen für eine Steigerung des Klimaschutzes im Gebäudebestand ermittelt werden.

Die Motivation für die Auseinandersetzung mit dem vorliegenden Forschungsgegenstand besteht in der Unterstützung politischer und gesellschaftlicher Entscheidungsträger:innen bei der Umsetzung der Klimaschutzziele durch die Schaffung einer fundierten Datenbasis und einer praxisrelevanten Planungsmethode.

1.3 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit

1.3.1 Zielsetzung und Forschungshypothese

Aufbauend auf den genannten Problemstellungen und der Motivation, die Politik und Praxis auf ihrem Weg zur Erreichung der Klimaschutzziele zu unterstützen, umfasst die vorliegende Dissertation zwei wesentliche Arbeitsschwerpunkte. Zum einen wird eine fundierte Datenbasis zu den Umweltwirkungen und Ressourcenverbräuchen von Altbau-, Neubau- und Sanierungskonstruktionen von deutschen Wohngebäuden erarbeitet. Zum anderen zielt die Arbeit darauf ab, eine Methode zu entwickeln, mit der Informationen aus semantischen 3D-Stadtmodellen genutzt werden, um Lebenszyklusanalysen für Baukonstruktionen auf Quartiersebene durchführen zu können. Damit sollen Kommunen und anderen Entscheidungsträger:innen Wege zu einem klimaneutralen Wohngebäudebestand aufgezeigt werden.

Mit Hilfe der entwickelten Methoden werden die Treibhausgasemissionen und der Aufwand an Primärenergie von Baukonstruktionen im Wohnungsbau über ihren Lebenszyklus hinweg und bezogen auf ihre Baualtersklasse großflächig berechnet. Dazu werden eingangs ökologische Kennwerte für Altbau-, Neubau- und Sanierungskonstruktionen generiert, die bauteilspezifisch drei wesentliche Umweltindikatoren berücksichtigen:

- das Treibhausgaspotential (GWP) als Emissionsparameter (ausgedrückt in kg oder t CO₂-Äquivalente) sowie
- der Aufwand der gesamten nicht erneuerbaren Primärenergie (PENRT) und
- der Aufwand der gesamten Primärenergie (PET) als Parameter für den Ressourceneinsatz (ausgedrückt in Megajoule [MJ], Kilo- [kWh] oder Megawattstunden [MWh]).

Diese ökologischen Kennwerte bilden die Datengrundlage für die Betrachtung verschiedener Bebauungsszenarien des nationalen Wohngebäudebestandes und ermöglichen eine ökologische Bewertung in frühen Planungsphasen, wenn die Weichen für den zukünftigen Klimaschutz und die zukünftige Klimaresilienz der Städte und anderer Siedlungsstrukturen gestellt werden.

Es werden Berechnungslogiken entwickelt und beschrieben, mit denen die bauteilspezifischen Kennwerte mit Informationen aus 3D-Stadtmodellen verknüpft werden können. So wird die Berechnung der Umweltwirkungen und der Ressourcenverbräuche von verschiedenen Bebauungsszenarien – Sanierung mit und ohne Nachverdichtung sowie Abriss und Ersatzneubau – auf Quartiers- oder Stadtebene ermöglicht.

Standardmäßig wird aktuell eine Lebenszyklusanalyse auf Gebäudeebene durchgeführt. Die Erweiterung auf Quartiers- bzw. Stadtebene ermöglicht eine differenziertere Auseinandersetzung mit den Wechselwirkungen verschiedener Bebauungsstrukturen und interdisziplinärer Schnittstellen, wie der Freiflächen- oder Mobilitätsplanung. Dafür müssen alle relevanten Systemgrenzen, Input-Parameter und möglichen Einflussparameter

definiert und benannt werden. Gleichzeitig wird aufgezeigt, welche Daten zukünftig flächendeckend und projektspezifisch erfasst werden müssen, um Unsicherheiten zu reduzieren. Letztlich sollen die entwickelten Kennwerte und die erarbeitete Methode von Fachplanenden mit LCA-Kenntnissen herangezogen werden, um in frühen Planungsphasen verschiedene Quartiers- und Stadtentwürfe hinsichtlich ihrer Klimawirkung und ihres Ressourceneinsatzes bewerten zu können. Die Ergebnisse dienen Politik und Kommunen als Grundlage zur Entwicklung von Strategien für mehr Klimaschutz und Ressourcenschonung im Gebäudesektor.

Aus der Zielsetzung resultiert die folgende Forschungshypothese:

Mit Hilfe der Entwicklung von Kennwerten und Methoden lässt sich die ökologische Qualität von Bestands- und Neubauten sowie von Sanierungsprojekten auf städtischer Ebene bewerten. Zudem lassen sich Handlungsempfehlungen in Bezug auf die Klimaneutralität und den Energiebedarf ableiten.

Die Forschungshypothese wird im Verlauf der Arbeit verifiziert oder gegebenenfalls falsifiziert und final in Kapitel 6.1.1 (Seite 185) nochmals aufgegriffen.

1.3.2 Abgrenzung der Arbeit

In dieser Arbeit stehen die Umweltindikatoren GWP, PENRT und PET im Fokus der Betrachtung. Sie werden gemäß einer Ökobilanzierung nach den Grundlagen der DIN EN ISO 14040:2021-02, DIN EN ISO 14044:2021-02, DIN EN 15804:2020-03 und DIN EN 15978:2012-10 ermittelt, wobei die gewählten Systemgrenzen Kapitel 3.2.2 ab Seite 54, entnommen werden können. Weitere Umweltindikatoren, die in den ökologischen Datenbanken beschrieben und hinterlegt sind, werden nicht betrachtet; ebenfalls auch keine potentiell verbauten Schadstoffe, wie Asbest und Lindan, die toxische Auswirkungen auf Mensch und Natur aufweisen. Die Auseinandersetzung mit diesen Themen erfordert weiteren Forschungsbedarf. Rohstoffkritikalitäten, wie Untersuchungen zum globalen Sandvorkommen, werden ebenfalls nicht analysiert. Hier wird auf andere Studien verwiesen (Erdmann und Behrendt, 2011; Heinrich, 2019; UN Environment Programme, 2019).

Bei der Bestimmung typischer Baukonstruktionen im Wohnungsbau wird eine möglichst breite Datengrundlage angestrebt. Informationslücken in Bezug auf den genauen Schichtenaufbau, die verwendeten Materialien sowie deren Eigenschaften werden durch fundierte Annahmen geschlossen. Daneben können die herangezogenen Daten gewissen Gültigkeitsdauern unterliegen, die im Zuge der Weiterverwendung überprüft werden müssen. Die entwickelte Methode verfügt über die notwendige Transparenz, damit Anpassungen vorgenommen werden können. Bei der Ermittlung baualterstypischer Konstruktionsaufbauten werden keine Sanierungsstände berücksichtigt. Das heißt, die Veränderung der ursprünglichen Baukonstruktion durch zwischenzeitliche Sanierungen ist nicht Gegenstand der Betrachtung. Die in der Literatur vorhandenen Angaben zu Sanierungsraten und

-ausführungen im deutschen Wohngebäudebestand reichen bisher nicht aus, um hier allgemeingültige Aussagen treffen zu können (siehe z. B. Cischinsky und Diefenbach (2018)).

Die Dissertation beschreibt die Arbeitsschritte, die die Berechnungen der Umweltwirkungen verschiedener Bebauungsszenarien mit Hilfe von 3D-Stadtmodellen ermöglichen. Anhand eines Fallbeispiels wird die Methode überprüft. Eine softwarebasierte Automatisierung der Methode ist möglich.

1.3.3 Vorgehensweise

Die vorliegende Arbeit besteht aus sechs Kapiteln (siehe Abbildung 1-2). Nach der Einleitung beschreibt Kapitel 2 die Arbeitsgrundlagen, zu denen Normen und Datenbanken zur Erstellung von Ökobilanzierungen für Baukonstruktionen und Gebäude zählen. Dies schließt eine Analyse zur Methodenverbreitung und der Verwendung maßgebender Indikatoren ein. Weiter sind die Untersuchung der deutschen Gebäudetypologien und die Einteilung der typischen Bauteilaufbauten in Baualtersklassen wesentliche Grundlagen. Abgeschlossen wird die Grundlagenermittlung mit der Beschreibung von 3D-Stadtmodellen und den Erläuterungen zur Methode der Sensitivitätsanalyse.

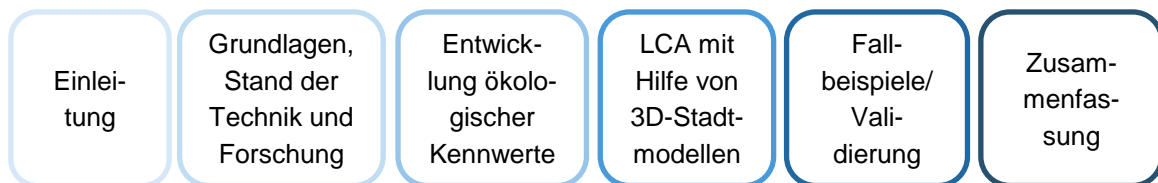


Abbildung 1-2: Darstellung der Vorgehensweise; eigene Darstellung

Ab Kapitel 2.7 erfolgt die Einordnung in den Stand der Technik und Forschung. Die Auseinandersetzung mit dem bisherigen Forschungsstand zu ökologischen Kennwerten und Lebenszyklusanalysen auf Stadtebene bildet die Grundlage für die weitere Arbeit.

Kapitel 3 legt die Entwicklung der ökologischen Kennwerte von baualtersklassenspezifischen Baukonstruktionen im Wohnungsbau dar. Die räumlichen und zeitlichen Systemgrenzen der durchgeführten Ökobilanzierung werden definiert und die relevanten ökologischen Datensätze zur Berechnung der maßgebenden Bauteile und Bauteilkonstruktionen ausgewählt. Nach der Beschreibung der Schritte zur Generierung der ökologischen Kennwerte erfolgt die Ergebnisdarstellung, gegliedert nach Altbau-, Sanierungs- und Neubaukonstruktionen. Eine Ergebnisdiskussion und die Ableitung von Handlungsempfehlungen erleichtert späteren Fachplanenden mit LCA-Kenntnissen die Verwendung der Kennwerte.

Kapitel 4 stellt die Methodik zur Berechnung einer LCA auf Quartiersebene vor. Die Methodik wurde in Abstimmung mit dem Forschungsprojekt „Grüne Stadt der Zukunft – klimaresiliente Quartiere in einer wachsenden Stadt“ entwickelt (TU München - Lehrstuhl für Strategie und Management der Landschaftsplanung, o. J.). Der enge projektinterne

Austausch von Wissenschaft und Praxis erlaubt die Identifizierung praxisrelevanter Entwicklungsszenarien von Bestandsquartieren, für die in diesem Kapitel die notwendigen Datenstrukturen aufgezeigt werden. Es wird zwischen Informationen (Input-Parameter) unterschieden, die durch das 3D-Stadtmodell vorgegeben sind und denen, die von den späteren Nutzenden definiert werden müssen. Je Szenario werden die einzelnen Berechnungsschritte beschrieben, die im Rahmen des Projektes teilweise softwarebasiert automatisiert wurden. Hier besteht eine Schnittstelle zur Dissertation von Harter (2021), die sich mit der Lebenszyklusanalyse der Technischen Gebäudeausrüstung großer Wohngebäudebestände auf Basis von 3D-Stadtmodellen beschäftigt. In der Diskussion erfolgt eine Auseinandersetzung mit den Datenunsicherheiten und verschiedenen Ergebnisvisualisierungen.

Die Anwendbarkeit der entwickelten Methode zur Durchführung einer LCA auf Quartiers-ebene via 3D-Stadtmodelle wird anhand eines Fallbeispiels und den in Kapitel 4 definierten Szenarien aufgezeigt (siehe Kapitel 5). Beim Fallbeispiel handelt es sich um ein bestehendes Wohnquartier in München-Moosach, das hohen Sanierungsbedarf aufweist. Die kritische Auseinandersetzung mit den statischen Berechnungsergebnissen erfolgt durch zwei begleitende Untersuchungen. Zum einen wird für ein Gebäude im gewählten Quartier eine vergleichende manuelle Bauteilflächenberechnung erarbeitet, zum anderen wird für ein ausgewähltes Szenario eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Am Ende eines jeden Hauptkapitels (1 bis 5) werden ihre wesentlichen Inhalte kurz zusammengefasst.

In Kapitel 6 erfolgt die Zusammenfassung der Arbeit, inklusive der Verifizierung der Forschungshypothese, der Darstellung der Kernaussagen und der kritischen Auseinandersetzung mit den Ergebnissen. Danach schließen Fazit und Ausblick die Arbeit ab. Mit dem Ausblick wird die Relevanz der Arbeit für Politik und Praxis nochmals aufgegriffen und der weitere Forschungsbedarf abgeleitet.

1.4 Zusammenfassung Kapitel 1

- Im Kampf gegen den Klimawandel nehmen Städte und insbesondere der Bausektor Schlüsselrollen ein (UN Environment Programme, 2017, 2020). Zur Erreichung der Klimaziele benennt diese Publikation auch die Rolle der Wohngebäude. Daneben ist es wichtig, den Einfluss der Materialien über ihren Lebenszyklus hinweg zu untersuchen sowie eine funktionierende Kreislaufwirtschaft anzustreben. Bei Niedrigstenergiehäusern kann der Anteil der Baukonstruktion an den lebenszyklusbasierten Treibhausgasemissionen durchschnittlich bis zu 30 % betragen (Mahler, Idler und Gantner, 2019, S. 18).
- Es besteht Handlungsbedarf, der seitens der deutschen Bundesregierung erkannt wurde. Mittels Gesetzen und Förderrichtlinien soll bis 2045 ein klimaneutraler Gebäudebestand erreicht werden, der eine lebenszyklusbasierte Betrachtung einschließt (BMUV, 2021; BMWI, o. J.a, 2021; Deutscher Bundestag, 2020).
- Zur Umsetzung benötigen die Politik, Planende und kommunale Entscheidungsträger:innen Handlungsempfehlungen und Werkzeuge, die eine möglichst großflächige ökologische Bewertung ihrer derzeitigen und zukünftigen Siedlungsstrukturen erlauben.
- Bisher existiert in Deutschland keine aktuelle und einheitliche Datenbasis, die baualtersklassenspezifische Unterschiede bei der ökologischen Qualität von Baukonstruktionen und von verschiedenen Bebauungsszenarien darstellen kann.
- Es ist eine frühe Betrachtung auf Quartiersebene erforderlich, um eine großflächige und effektive Umsetzung der geforderten Klimaziele erreichen zu können.
- Die Ökobilanzierung ist eine geeignete Methode zur Bewertung der ökologischen Optimierungspotentiale von Wohngebäuden. Jedoch bedarf es vermehrt digitaler Planungswerkzeuge, die eine schnelle Bilanzierung in frühen Planungsphasen ermöglichen.
- Die vorliegende Arbeit zielt darauf ab, eine Methode zu entwickeln, die die Treibhausgasemissionen und Energieverbräuche von Baukonstruktionen im Wohnungsbau über ihren Lebenszyklus hinweg und bezogen auf ihre Baualtersklasse identifizieren kann. Es entstehen ökologische Kennwerte für Altbau-, Neubau- und Sanierungskonstruktionen, die bauteilspezifisch drei wesentliche Umweltindikatoren berücksichtigen: Treibhausgaspotential (GWP), Aufwand an gesamter nicht erneuerbarer Primärenergie (PENRT) und Aufwand an gesamter erneuerbarer Primärenergie (PET).
- Es wird aufgezeigt, wie bauteilspezifische Kennwerte mit Informationen aus 3D-Stadtmodellen verknüpft werden, sodass eine schnelle Berechnung der Umweltwirkungen und des Ressourcenverbrauchs von verschiedenen Bebauungsszenarien ermöglicht wird.
- Die Anwendbarkeit der entwickelten Methode zur Durchführung einer LCA auf Quartiersebene via 3D-Stadtmodelle wird anhand eines Fallbeispiels bewiesen.

2 Grundlagen, Stand der Technik und Forschung

2.1 Ökobilanzierung von Gebäuden

Eine Ökobilanzierung ist eine Methode zur Zusammenstellung und Beurteilung der stofflichen und energetischen Input-, Betriebs- und Outputflüsse sowie der potentiellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebenswegs (DIN EN ISO 14044:2021-02, Abschnitt 3.2). Mit Hilfe einer Ökobilanzierung (engl. Life Cycle Assessment, kurz: LCA) ist es möglich, die Umweltein- und -auswirkungen sowie den energetischen und stofflichen Ressourcenverbrauch einzelner Produkte bzw. Verfahren zu ermitteln. Die ökologische Qualität eines Produkts steigt, wenn seine Umweltwirkungen und Verbräuche verringert werden. Dabei werden diese systematisch von der Herstellung über die Nutzung bis zur Entsorgung untersucht. Mit dem Ziel unseren Ressourcenverbrauch nachhaltig zu gestalten, stellt die Ökobilanzierung neben der soziokulturellen und ökonomischen Bewertung den dritten Teilaspekt der ganzheitlichen Bilanzierung der Nachhaltigkeit dar. Dabei weist die Normung darauf hin, dass die Tiefe und Breite einer Ökobilanzierung je nach Zielsetzung stark schwanken können und die Auswertung in enger Relation zu den gewählten Systemgrenzen steht (DIN EN ISO 14044:2021-02).

2.1.1 Normative Grundlagen und Entwicklung

Die LCA ist seit 2006 international standardisiert. Die vorliegende Arbeit baut auf den Grundlagen der genannten DIN EN ISO 14044:2021-02 sowie auf der DIN EN ISO 14040:2021-02 und der DIN EN 15978:2012-10 auf. Letztere regelt die Berechnungsmethode zur Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden. Der methodische Rahmen folgt der nach Abbildung 2-1 festgelegten Reihenfolge.



Abbildung 2-1: Methodischer Rahmen einer Ökobilanzierung; eigene Darstellung nach DIN EN ISO 14044:2021-02

Die LCA betrachtet die Stoff- und Energieströme der Herstellung, Errichtung, Nutzung und Entsorgung der Gebäude. Zusätzlich können separat Informationen außerhalb des Lebenszykluses zu Vorteilen und Belastungen sowie zu Wiederverwendungs- und

2.1 Ökobilanzierung von Gebäuden

Recyclingpotentialen ausgewiesen werden. Abbildung 2-2 zeigt alle Lebenszyklusphasen (LZPH) eines Gebäudes nach DIN EN 15978:2012-10 auf, wobei derzeit für die Baukonstruktion nur ein Teil flächendeckend erfasst wird (orange markiert).

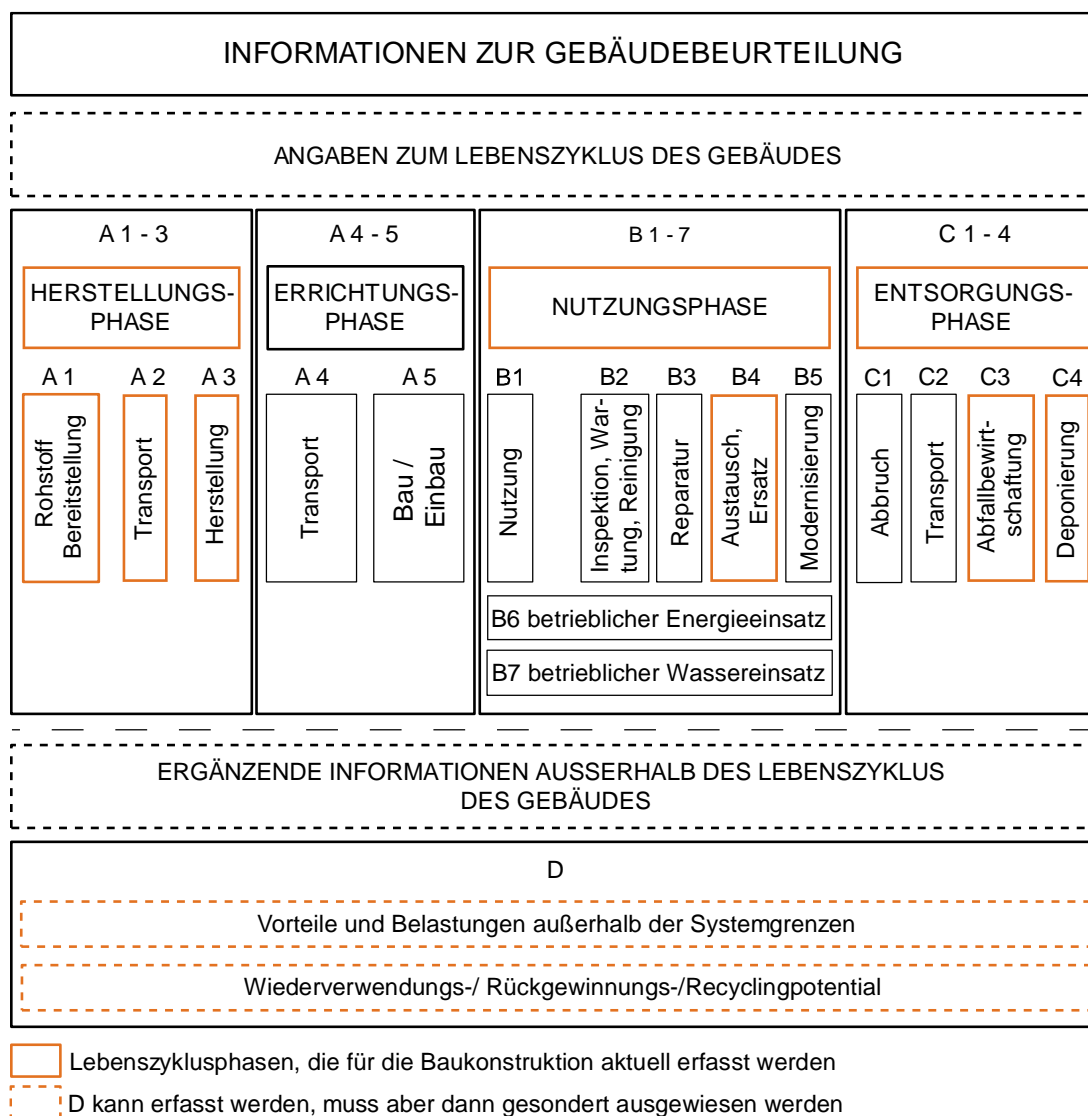


Abbildung 2-2: Lebenszyklusphasen eines Gebäudes; eigene Darstellung nach DIN EN 15978:2012-10, Bild 6

Die LZPH A1 bis A3 decken die Herstellungsprozesse von der Rohstoffbereitstellung bis zum hergestellten Produkt ab und werden in der Regel kumuliert ausgegeben. A4 und A5 umfassen die Bauprozessphasen, die z. B. Stromverbräuche auf der Baustelle oder den Einsatz von Lastwägen bilanzieren. Die Errichtungsphase ist projektspezifisch zu erfassen und von vielen Einzelfaktoren, wie Lage der Baustelle und Transportwege abhängig. Die Nutzungsphase wird durch sieben Einzelaspekte definiert und deckt den Zeitraum von der tatsächlichen Fertigstellung des Gebäudes bis zum Rückbau und Abriss ab. Berücksichtigt werden die Nutzung (B1), die Wartung/Reinigung (B2), Reparaturen (B3), der Austausch/Ersatz von Gebäudekomponenten (B4), Modernisierungen (B5) sowie betrieblich bedingte Energie- und Wasserverbräuche (B6 und B7). Mit Stilllegung des Gebäudes beginnt die Lebensend- bzw. Entsorgungsphase. Die LZPH C1 berücksichtigt am Standort

stattfindende Arbeitsgänge zum Rückbau, C2 den Transport zur Beseitigung und/oder zu möglichen Zwischenlagern oder Verarbeitungsstätten. Die LZPH C3 schließt die Abfallbewirtschaftung der Bauelemente und Materialien ein. Abfallbewirtschaftung bedeutet, dass die Bauabfälle rückgewonnen, recycelt oder energetisch verwertet werden können. In der Phase D werden daraus resultierende Recyclingpotentiale oder energetische Verwertungen erfasst und als Nettovorteile oder -belastungen für zukünftige Nutzungen berücksichtigt. Beispielsweise können Teile zurückgebauten Betons Primärrohstoffe wie Sand, Kies, Splitt oder Schotter ersetzen und somit den Primärenergiebedarf neuer Betonbauten reduzieren. Die energetische Verwertung von Holz kann den Einsatz fossiler Energieträger für die Wärmeerzeugung senken. Die LZPH C4 stellt die endgültige Beseitigung der Materialien dar. (DIN EN 15978:2012-10, S. 19-29)

Bisher sind verwendete Datenbanken (vgl. Kapitel 2.1.2 ab Seite 14) lückenhaft und viele Bauprodukt Datensätze weisen lediglich einzelne LZPH aus. Für A4 und A5 liegen keine ausreichenden Statistiken vor, die projektspezifische Transportwege oder Baustelleneinrichtungen allgemeingültig erfassen. Auch die Umweltwirkungen der einzelnen Baustoffe in den Nutzungsphasen B1 bis B5 sind gebäudespezifisch und von den gewählten Einsatzbereichen abhängig.

Die ÖKOBAUDAT stellt jedoch für einen Großteil ihrer Datensätze Umweltwirkungen der LZPH A1-A3, C3 und C4 zur Verfügung. Bei Ausweisung der Entsorgungsphasen verfügen die Datensätze meist über Angaben zur Phase D. (BBSR, o. J.)

In Abbildung 2-2 sind die Lebenszyklusphasen orange markiert, die aktuell für Baukonstruktionen flächendeckend erfasst werden. Die Phase B4 ist dabei ein Produkt aus den Austauschzyklen während der Nutzungsdauer des Gebäudes und den Umweltwirkungen der zu entsorgenden und wiederherzustellenden Bauteilkomponenten (vgl. Kapitel 3.2.2.2, Seite 56). Für frühe Planungsphasen, bei denen Entwurfsvergleiche im Vordergrund stehen und projektspezifische Details ausgeklammert werden können, lässt sich somit eine ausreichende Bilanzierung der Herstellung, Nutzung und Entsorgung der Gebäude durchführen.

So hat sich die LCA in den vergangenen Jahren bei der ökologischen Gebäudebewertung bewährt und sie wurde in nationale Zertifizierungssysteme aufgenommen (BBSR, 2020; DGNB, 2021). Schwachstellen resultieren aktuell aus uneinheitlichen Datengrundlagen oder intransparenten Darstellungen. Deshalb muss die LCA von Gebäuden stets normgerecht, transparent und nachvollziehbar beschrieben und durchgeführt werden.

Besonders in frühen Planungsphasen ist die Anwendung einer LCA wichtig, denn hier werden die grundsätzlichen Weichen für die ökologische Qualität der Bauausführung gestellt. Dazu werden der Energiestandard, die Gebäudegeometrie und die dominierenden Baumaterialien festgelegt. Die manuelle Durchführung einer LCA, inklusive der Massenermittlung auf Gebäudeebene ist zeitintensiv. Mit Hilfe digitaler Planungswerkzeuge kann der Zeitaufwand deutlich verkürzt und die Anwendung einer LCA in frühen Planungsphasen gefördert werden. Insbesondere wenn sie automatisierte und großflächige Berechnungen auf Quartiers- statt auf Gebäudeebene ermöglichen.

2.1.2 Datenbanken

Zur Bestimmung der Umweltwirkungen von Bauprodukten und -materialien existieren parallel verschiedene regionale, nationale und internationale Datenbanken mit unterschiedlichen Umfängen und Zugangsmöglichkeiten. Nachfolgend werden drei für Deutschland geeignete Datenquellen für die Ermittlung der Umweltwirkungen im Bauwesen vorgestellt und nach den drei folgenden Verwendungskriterien bewertet:

- Kriterium 1: ausreichend große Datenbasis
- Kriterium 2: geprüfte Datensätze
- Kriterium 3: frei zugänglich

2.1.2.1 Ecoinvent

Die Ecoinvent wird von den für die Datenbank Verantwortlichen als die weltweit konsistenteste und transparenteste Datenbank präsentiert. Initiiert wurde die Datenbank unter anderem von der ETH Zürich, der EPF Lausanne, dem Paul-Scherrer-Institute (PSI), der EMPA sowie Agroscope. Sie liegt in der aktuellen Fassung 3.9.1 vor. (Ecoinvent, o. J.)

Die Datenbank enthält über 18.000, sowohl schweizerische als auch internationale Datensätze mit Sachbilanzdaten verschiedener Themenbereiche, wie Landwirtschaft und Fischerei, Bauwesen, elektronische Produktkomponenten oder Abfallbehandlung. Jeder einzelne Datensatz wird von einer unabhängigen Stelle überprüft und freigegeben. Alle Annahmen und Grundlagen werden transparent beschrieben. Vorteil der Ecoinvent ist, dass sie in nahezu alle Ökobilanzierungssoftwaretools integriert werden kann. Nachteilig ist, dass sie nicht frei zugänglich und daher weniger geeignet für transparente und wissenschaftliche Arbeiten ist. (BMUB und UBA, 2015)

Die Datenbank erfüllt somit Kriterium 1 und 2. Kriterium 3 wird jedoch nicht erfüllt. Deshalb ist sie nicht für die Verwendung in dieser Arbeit geeignet.

2.1.2.2 Gabi-Datenbank

Diese Datenbank wird von der Sphera Solutions GmbH verwaltet. Das Privatunternehmen arbeitet mit der Universität Stuttgart gemeinsam an der Pflege und Erweiterung der Datenbank und erstellt viele generische Datensätze und EPDs. Jeder Datensatz wird dabei durch unabhängige Dritte geprüft. Allerdings sind die Annahmen, die die Datensätze definieren, nicht lückenlos beschrieben. Deshalb wird empfohlen, die Datensätze aus der Gabi-Datenbank nicht mit externen Datensätzen zu vermischen. (BMUB und UBA, 2015)

Mit ca. 15.000 Datensätzen aus 16 verschiedenen Bereichen, wie Landwirtschaft, Bauwesen und Konstruktion, Konsumgüter, Nahrungsmittel, usw. ist sie ähnlich umfangreich wie die Ecoinvent (Sphera Solutions GmbH, o. J.).

Wie die Ecoinvent erfüllt sie zwar Kriterium 1 und 2, jedoch nicht Kriterium 3. Eine Verwendung in dieser Arbeit ist somit ausgeschlossen.

2.1.2.3 ÖKOBAUDAT

Die ÖKOBAUDAT ist eine vereinheitlichte Datenbasis für die Ökobilanzierung von Bauwerken in Deutschland. Seit 2009 wird sie im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte stetig weiterentwickelt und von der Deutschen Baustoffindustrie unterstützt. Herausgeber ist das Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat. Sie enthält nach DIN EN 15804:2020-03 normkonforme Datensätze für Bauprodukte, Transport-, Energie- und Entsorgungsprozesse. In die Datenbank werden sowohl generische als auch firmen- oder verbandsspezifische Datensätze aufgenommen, insofern sie die Konformitätsprüfung erfüllen (Verwendungskriterium 2). Die Daten beruhen größtenteils auf der Gabi-Datenbank, teilweise aber auch auf der Ecoinvent. (BBSR, o. J.)

Die ÖKOBAUDAT bietet eine ausreichend große Datenbasis (Verwendungskriterium 1). Der Großteil der in Version 2020-II vorhandenen 4.658 Datensätze sind generische Datensätze (43,1 %). Spezifische Datensätze (Produkt-EPDs) sind mit einem Anteil von 30,1 %, durchschnittliche mit 16,0 % und repräsentative Datensätze mit 10,7 % vertreten. Der Typ „unspezifischer Datensatz“ wird nur dreimal verwendet, und zwar für Luftschichten, die keine Umweltwirkungen aufweisen. Dieser Typ kann demnach vernachlässigt werden (siehe Abbildung 2-3).

Spezifischer Datensatz	Durchschnittlicher Datensatz	Repräsentativer Datensatz	Unspezifischer Datensatz	Generischer Datensatz
Datensatz für ein spezifisches, konkretes Produkt (z. B. eines Herstellers)	durchschn. Datensatz eines Industrieverbandes oder mehrerer Firmen bzw. mehrerer Werke	Datensatz, der repräsentativ für ein/e Land/Region ist (z. B. Durchschnitt Deutschland)	Datensatz für spezifische Produkte, der auf Basis einer Muster-EPD erstellt wurde	enthält Daten gemäß EN 15804 oder Daten, die auf Literatur oder Expertenwissen beruhen

Abbildung 2-3: In der ÖKOBAUDAT, Version 2020-II vorhandene Datensatztypen; eigene Darstellung nach BBSR (2019, S. 31)

Manche Bauprodukte werden in der ÖKOBAUDAT nicht geführt, sodass deren Umweltwirkungen nicht bewertet werden können (z. B. deutscher Durchschnitt einer Standardinnentür). Darüber hinaus werden in der Praxis für einzelne Schichtenaufbauten Mischdatensätze erzeugt. Als Beispiel kann hier Stahlbeton genannt werden, für den in Abhängigkeit der Betonfestigkeitsklasse und des Armierungsgehaltes ein Mischdatensatz aus dem Beton- und Baustahldatensatz gebildet wird.

Die ÖKOBAUDAT wurde speziell für den deutschen Bausektor entwickelt und wird von der öffentlichen Hand betrieben und laufend aktualisiert. Sie ist frei zugänglich und erfüllt somit auch Verwendungskriterium 3. Deshalb wird sie im Rahmen dieser Arbeit als zentrale Datenbank in der Version 2020-II verwendet (BBSR, o. J.). Innerhalb verschiedener Versionen können sich Berechnungsvorschriften infolge von Normenaktualisierungen (z. B. DIN EN

15804:2020-03) oder energetische Bezugswerte (z. B. deutscher Strom-Mix) ändern. Deshalb dürfen verschiedene ÖKOBAUDAT-Versionen nicht vermischt verwendet werden.

2.1.3 Verbreitung der Methode

Die LCA und Ermittlung der Umweltwirkungen von Baukonstruktionen gewinnt im Kontext der Klimaziele, der ökologischen Bewusstseinssteigerung und mit Einführung der internationalen Normen sukzessiv an Bedeutung (vgl. Kapitel 2.1.1, ab 11). Es existieren sowohl wissenschaftliche als auch praxisorientierte Studien, die sich mit unterschiedlichen Teilaspekten der LCA von Baukonstruktionen auseinandersetzen. Hierzu zählen Untersuchungen im Bestand und im Neubau von Wohn- und Nichtwohngebäuden, wie sie am Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen der Technischen Universität München durchgeführt werden (Botzler et al., 2017; Harter, Meier-Dotzler et al., 2020; P. Schneider und Lang, 2017; Schneider-Marin et al., 2019; Vollmer et al., 2019).

Durch die Etablierung von Zertifizierungs- und Benchmarksystemen, wie dem Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB), dem Zertifizierungssystem der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB), LEED, BREEAM usw. wird die zunehmende Anwendung der Ökobilanzierung national und international unterstützt (BBSR, 2020; BRE, 2022; DGNB, 2021; U.S. Green Building Council, 2022).

Seit 2009 vergibt die DGNB-Zertifizierung Punkte für die ökologische, ökonomische und soziokulturelle Qualität eines Gebäudes, eines Innenraums oder eines ganzen Quartiers verschiedener Nutzungstypen über den Lebenszyklus hinweg und vergleicht sie mit Zielwerten (DGNB, 2021). Die LCA stellt hierbei eines der zentralen Berechnungselemente im System dar (DGNB, 2014).

Im Fokus des BNB steht die Nachhaltigkeitszertifizierung von Bundesbauten (Büro- und Verwaltungsgebäude, Unterrichtsgebäude, Außenanlagen oder Laborgebäude) mit Hilfe von Kriteriensteckbriefen (BBSR, 2020). Beim BNB können maximal 100 Punkte bei der Kriterienerfüllung erreicht werden, indem die Bilanzierungsergebnisse mit Bezugswerten verglichen werden (BMUB, 2017).

Dennoch ist die Entwicklung der LCA im Gebäudesektor noch nicht einheitlich. Die normativen Grundlagen ermöglichen zwar einen gemeinsamen methodischen Rahmen, aber dieser lässt noch zu viele Freiheiten zu, wie bei der Datenbankwahl und bei der Umsetzung (Dossche et al., 2017). Ein direkter Vergleich von Einzelstudien, mit denen die Bandbreite der Umweltwirkungen und Ressourcenverbräuche von Baukonstruktionen verschiedenster Baualtersklassen ermittelt werden können, ist nur bedingt möglich.

Die Europäische Kommission hat nun als Teil der Zielsetzungen des Green Deal mit „Level(s)“ ein neues einheitliches Rahmenwerk für die Evaluierung nachhaltiger Gebäude geschaffen (Europäische Kommission, o. J.b, 2019). Auch dieses Rahmenwerk stellt – neben dem Wasserverbrauch, der Gesundheit, dem Wert/Risiko und dem Klimawandel – als

Indikatoren für nachhaltige Gebäude den Treibhausgasausstoß und den Materialverbrauch in den Mittelpunkt der Bewertung. Inwiefern dieses Rahmenwerk die einzeln existierenden Zertifizierungssysteme zusammenführen kann, sodass eine europaweit einheitliche Bewertung des Gebäudesektors und somit der Baukonstruktionen ermöglicht wird, kann aktuell noch nicht beurteilt werden.

2.1.4 Indikatoren

Die ökologische Qualität von Baustoffen und -konstruktionen kann mit Hilfe der ÖKOBAU-DAT durch insgesamt 24 Indikatoren bewertet werden. Die Indikatoren beschreiben die Umweltwirkungen, den Ressourceneinsatz, die anfallenden Abfälle oder den Output der Stoff- und Energieflüsse und finden sich in allen EPDs für Bauprodukte nach DIN EN 15804:2020-03. (BBSR, 2019, S. 12)

Zur Beschreibung der Umweltwirkung und des Ressourceneinsatzes von Bauprodukten werden in der vorliegenden Arbeit von diesen 24 Indikatoren drei wesentliche Indikatoren herangezogen, die bei der Formulierung der nationalen und internationalen Klimaschutzziele bzw. der Klimapolitik berücksichtigt werden: das GWP (engl. Global Warming Potential – globales Treibhauspotential), die PENRT (engl. Primary Energy Non-Renewable Total – Gesamte nicht erneuerbare Primärenergie) und die PERT (engl. Primary Energy Renewable Total – Gesamte erneuerbare Primärenergie) (BMWI, o. J.a, o. J.b; Europäische Kommission, o. J.a). Das GWP wird als maßgebender Indikator zur Bewertung des menschengemachten Klimawandels angesehen und in kg oder t CO₂-Äquivalenten ausgedrückt. Zusätzlich wird die Energieeffizienzsteigerung an der Reduzierung des Primärenergiebedarfs gemessen, vor allem an der Reduzierung des nicht erneuerbaren Anteils. Der Primärenergiebedarf wird in MJ, kWh oder MWh bilanziert.

Auch das BNB gewichtet diese Indikatoren stärker als andere. Beim Ersatzverfahren zur ökobilanziellen Untersuchung von repräsentativen Bauteilen der KG 300 wird bei der Ressourceninanspruchnahme die PERT und PENRT ermittelt. Zur Bewertung der Umweltwirkungen ist das GWP einer von fünf wesentlichen Indikatoren. (BMUB, o. J.)

Hier wird die PERT nicht separat betrachtet, sondern sie fließt zusammen mit der PENRT in die ausgewiesene PET (Gesamte Primärenergie mit erneuerbarem und nicht erneuerbarem Anteil) ein.

2.2 Gebäudetypologien des Wohnbestandes

In der Literatur gibt es mehrere Ansätze den deutschen Wohngebäudebestand und seine Eigenschaften, z. B. strukturiert nach energetischen oder konstruktiven Eigenschaften, darzustellen. Je nach Zielanforderung werden beispielsweise Altersstrukturen oder der energetische und konstruktive Gebäudezustand beschrieben. Im Anschluss erfolgt die Vorstellung relevanter Gebäudetypologien und -erhebungen sowie die Diskussion über ihre Verwendbarkeit in dieser Arbeit.

2.2.1 Deutsche Gebäudestatistiken

Die letzte deutsche Wohngebäudeerhebung der statistischen Ämter des Bundes und der Länder fand im Jahr 2011 (Zensus 2011) statt. Abbildung 2-4 zeigt die Verteilung der Gebäude mit Wohnraum sowie die Verteilung der Wohnungen nach Baujahr bzw. nach vorgegebenen Baualtersklassen. Der aktuelle Sanierungsstand in den verschiedenen Baualtersklassen wird hier nicht erfasst. Im Durchschnitt besitzt ein Gebäude rund 1,9 Wohnungen. Demnach übersteigt in Deutschland die Anzahl der Ein- und Zweifamilienhäuser die der Mehrfamilienhäuser. Dies verhält sich über alle Baualtersklassen hinweg ähnlich.

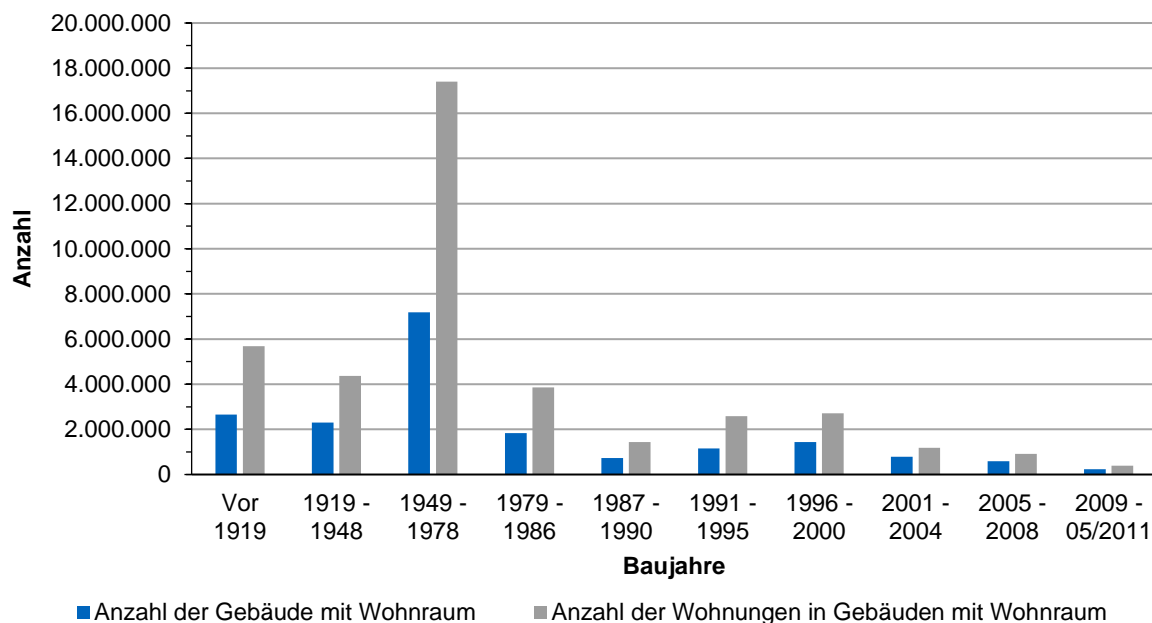


Abbildung 2-4: Anzahl der Gebäude mit Wohnraum sowie die Wohnungsanzahl nach Baujahr; eigene Darstellung nach Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2011a, 2011b)

Durch die Fortschreibung der Bautätigkeitstatistik kann die Wohngebäudeerhebung im Rahmen ihrer Erfassungsgrenzen nahezu als vollständig bezeichnet werden. Baugenehmigungen, Baufertigstellungen und Gebäudeabgänge werden jährlich statistisch festgehalten. Zum Stichtag 31.12.2019 existierten in Deutschland insgesamt 19.160.977 Wohngebäude (Statistisches Bundesamt, 2020a, 2020b). Die jährlichen Abgänge ganzer Wohngebäude von 5.752 bis 10.663 in den vergangenen 26 Jahren verdeutlichen die Notwendigkeit, die

Veränderung des Gebäudebestandes und somit die Veränderungen der Bauteilmassen und -konstruktionen zu dokumentieren. Jedoch erfassen die Bautätigkeitsstatistiken lediglich den bei den Gebäuden überwiegend verwendeten Baustoff und keine genauen Bauteilaufbauten, die zur Entwicklung ökologischer Kennwerte erforderlich wären. Dennoch unterstützt die Angabe zu den überwiegend verwendeten Baustoffen die Auswahl beispielhafter Bauteilaufbauten folgender Literaturquellen.

2.2.2 Deutscher Wohngebäudebestand

Die Entwicklung von deutschen Wohngebäudetypologien dauert seit 1990 an. Mit dem Projekt Tabula wurde 2011 eine deutsche Gebäudetypologie nach energetischer Klassifizierung anhand von Beispiel- und Durchschnittsgebäuden geschaffen. Mit der zweiten Auflage im Jahr 2015 wurde die Gebäudetypologie mit Hilfe des Nachfolgeprojekts EPISCOPE um Beispielgebäude für Neubauten erweitert. Es werden Häuser von den Baujahren 1859 bis 2009 erfasst. Die Haustypen der Einfamilien-, Mehrfamilien-, Reihen- und Hochhäuser wurden auf Basis von statistischen Häufigkeiten generiert und dienen primär als Grundlage für Energieverbrauchsmodelle des nationalen Gebäudebestandes. (Loga et al., 2015, S. 5-9)

Neben den energetischen Eigenschaften nennt die Typologie Beispiele für nationale und regionale Bauweisen sowie deren Erscheinungsbilder. Die dargestellten Bauteilaufbauten sind jedoch nur beispielhaft aufgeführt und nicht repräsentativ sowie spezifisch genug beschrieben. Aus diesem Grund werden zwar die Definitionen der Gebäudetypologien jedoch nicht die Konstruktionsangaben zur Bilanzierung der ökologischen Kennwerte herangezogen.

2.2.3 Staatliche Vorgaben zur Erhebung von Wohngebäuden

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie sowie das Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat veröffentlichten in der aktualisierten Fassung der „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand“ eine offizielle Einteilung des Gebäudebestands in insgesamt neun Baualtersklassen (siehe Tabelle 2-1) (BMWI und BMI, 2020). Diese Einteilung basiert in erster Linie auf der Beschreibung von energetischen Kennwerten und weniger auf materiellen Eigenschaften dieser Baualtersklassen. Dennoch ist sie für die Erhebung materieller Charakteristika sinnvoll. Der energetische Standard definiert gleichzeitig die Bauteildicken oder die Verwendung von bestimmten Dämmmaterialien. Auch Sanierungsmaßnahmen orientieren sich primär an dem Ziel, den energetischen Standard zu verbessern, was einen direkten Vergleich der Grauen Energie mit dem betrieblichen Energieaufwand erlaubt. Diese Einteilung dieser Baualtersklassen ist geeigneter als die in Abbildung 2-4 dargestellte. Die Wahl dieser Baualtersklassen wird übernommen und bis 2021 ergänzt (siehe Kapitel 2.3 ab Seite 21).

2.2 Gebäudetypologien des Wohnbestandes

Tabelle 2-1: Einteilung des Wohngebäudebestandes nach Baualtersklassen; eigene Darstellung nach BMWI und BMI (2020)

Baualtersklasse	Baujahre
BK 1	bis 1918
BK 2	1919 bis 1948
BK 3	1949 bis 1957
BK 4	1958 bis 1968
BK 5	1969 bis 1978
BK 6	1979 bis 1983
BK 7	1984 bis 1994
BK 8	1995 bis 2001
BK 9	ab 2002

2.3 Baualtersklassen

Die Literatur der Architekturgeschichte beschreibt eine Vielzahl an Baukonstruktionen (BMW und BMI, 2020; Böhmer et al., 2010; Giebeler et al., 2008; Loga et al., 2015; Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V., 2009a, 2009b). Die Architektur wurde durch die Zerstörung aufgrund von Kriegen, z. B. im ersten und zweiten Weltkrieg, und dem nachfolgenden Baustoffmangel oder durch den wirtschaftlichen Aufschwung, wie in den 60er Jahren, geprägt. Die Ölkrise 1973 führte zur ersten Wärmeschutzverordnung (WSchV), die 1977 in Kraft trat und eine kontinuierliche Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden auf den Weg brachte. Ab dieser Zeit definieren die Einführungen neuer WSchV, der Energieeinsparverordnungen (EnEV) oder des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) nachfolgende Baualtersklassen (Deutscher Bundestag, 2002, 2004, 2020).

Wie im vorherigen Kapitel beschrieben, wird die Einteilung in energetische Baualtersklassen in dieser Arbeit übernommen, um Vergleiche mit betriebsbedingten Energieeinsätzen und den sich daraus ergebenden Umweltwirkungen gewährleisten zu können (Lebenszyklusphase B6, Abbildung 2-2, Seite 12). So können jeder Baualtersklasse typische Baukonstruktionen zugeordnet werden. Einzelne Baukonstruktionen können über mehrere Baualtersklassen hinweg vertreten sein. Die festgelegten Baualtersklassen werden nachfolgend vorgestellt, die Bilanzierung baualterstypischer Konstruktionsaufbauten für Wohngebäude erfolgt in Kapitel 3 ab Seite 53.

2.3.1 Baualtersklasse 1 – bis 1918

Das BMW und BMI (2020) teilen Wohngebäude, die bis 1918 errichtet wurden, in die Baualtersklasse (BK) 1 ein. Loga et al. (2015) definieren bis zum Jahr 1918 zwei Baualtersklassen. Bis 1859, der vorindustriellen Phase, waren die Bautechniken handwerklich und vor allem von verschiedenen lokal verfügbaren Materialien geprägt. Fachwerke mit Strohlehmausfachungen, monolithische Wände aus Natursteinen oder Vollziegeln und Holzbalkendecken waren in dieser Zeit dominante Bauweisen. In der Gründerzeit – Zeit der Industrialisierung – von 1860 bis 1918 dehnten sich in den Städten die Mauerwerksbauten aus. Die Wanddicken nahmen von oben nach unten zu und eine Kelleraußenwand konnte bis zu 99 cm dick sein. Straßenfassaden bestanden aus Stuck, Sandstein oder Klinker. Neben Holzbalkendecken wurden Kellerdecken massiv ausgeführt. Die Gebäude wurden auf Streifenfundamenten gegründet und besaßen Holz(kasten)fenster. Da in dieser Zeit jedoch noch keine nationalen Standards vorherrschten, werden die vielfältigen Bauweisen innerhalb dieser ersten BK zusammengefasst. (Loga et al., 2015, S. 10)

2.3.2 Baualtersklasse 2 – 1919 bis 1948

Mit zunehmender Industrialisierung und nationalen Standardisierungen setzten sich in der Zwischenkriegszeit ein- und zweischalige Mauerwerkswände durch. Verstärkt kamen wärmeschützende Hohlkörperdecken oder Bauelemente mit anderen Luftkammern, wie Hochlochziegel oder Bimshohlblocksteine, zum Einsatz. Die Kellerdecken waren häufig massiv. Kostengünstige, einfache und materialsparende Konstruktionen dominierten diese Baualtersklasse, denn Eisen und Stahl mussten z. B. für den Krieg eingespart werden. Im Kellergeschoss wurde Mauerwerk von Beton abgelöst. (Giebeler et al., 2008, S. 154-171; Loga et al., 2015, S. 10)

2.3.3 Baualtersklasse 3 – 1949 bis 1957

BK 3 stellt die Baualtersklasse der Nachkriegszeit dar, in der einfache Bauweisen mit teilweise wiederverwendeten Trümmer-Materialien dominieren. Urban Mining – Nutzung der gebauten Umwelt für Sekundärrohstoffe – ist also keine neue Erfindung, sondern stellte damals eine Notwendigkeit dar. Insgesamt ähneln die Konstruktionen denen der vorherigen Baualtersklasse in der Ausführung, denn auch in BK 3 war ein sparsamer Materialverbrauch erforderlich. Die Mauerwerksbauweise wurde flächendeckend angewendet, wobei statt Vollziegel gegen Ende der BK Lochziegel auf dem Markt erschienen. Holzbalkendecken wurden vor allem bei Einfamilienhäusern ausgeführt, aber auch massive Flachdecken in Stahlbeton mit und ohne Füllkörper sind in dieser BK ab dem Kellergeschoss vorzufinden. In der DDR wurden in den 50er Jahren mit der Block- bzw. Streifenbauweise Wände und Decken vorgefertigt. (Giebeler et al., 2008, S. 172-189; Loga et al., 2015, S. 10)

Seit 1952 ist expandiertes Polystyrol (EPS) als Dämmstoff erhältlich (Ceresana, 2021).

2.3.4 Baualtersklasse 4 – 1958 bis 1968

Ende der 50er Jahre startete der industrielle, mehrgeschossige Wohnungsbau in der DDR mit Leichtbeton- und Stahlbetonkonstruktionen (z. B. „Plattenbauweise P1“ und „Blockbauweise 8 kN Q3A“) (Dr. Klein Wowi Finanz AG, o. J.).

Im Geschosswohnungsbau wurde vermehrt Stahlbeton eingesetzt, auch weil der Baustoff Holz knapp war. Leichtbetonsteine (Markenname: Ytong) wurden gegen Ende der 50er Jahre neu eingesetzt. Bis in die 60er Jahre hinein wurden für Dämmarbeiten hauptsächlich Holzwolleleichtbauplatten, Kork- und Torfdämmungen verwendet. Mineralwolle kam ab Mitte der 50er Jahre allmählich auf den deutschen Markt, wobei sie flächendeckend erst ab 1959 als Trittschalldämmung verbaut wurde. Schaumglas ersetzte Korkdämmung bei Flachdächern und ab 1960 etablierten sich die Polystyrolämmungen. Ab 1965 wurden wieder Holzhäuser gebaut, wobei sich in der Literatur dazu keine detaillierteren Angaben finden lassen. (Eicke-Henning, 2017, S. 9; Giebeler et al., 2008, S. 172-189; Loga et al., 2015, S. 11)

2.3.5 Baualtersklasse 5 – 1969 bis 1978

Die Bauweise in der BK 5 wurde von Fertighauskonzepten beeinflusst und es erscheinen Sandwichkonstruktionen. Mit Ende der Baualtersklasse trat am 1. November 1977 die erste Wärmeschutzverordnung (WSchV 1977) in Kraft, die erstmals die Reduzierung des Energieverbrauchs durch bauliche Maßnahmen thematisierte. Keller wurden zunehmend als Wohnraum genutzt und deshalb hochwertig abgedichtet. Bei Einfamilienhäusern wurden Kelleraußenwände nach wie vor in Mauerwerk oder Stampfbeton ausgeführt, im Geschosswohnungsbau kamen vermehrt Stahlbetonwände zum Einsatz. Insgesamt wurden höhere Wohngebäude errichtet. Gebäude erhielten bewehrte Stahlbetonfundamente und Platten Gründungen. (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, 2020; Giebeler et al., 2008, S. 190-205; Loga et al., 2015, S. 11)

2.3.6 Baualtersklasse 6 – 1979 bis 1983

In dieser BK tritt in Westdeutschland die WSchV 1977 in Kraft. Es wurden maximale Wärmedurchgangskoeffizienten (damals: k-Wert, heute U-Wert) für Außenwände einschließlich Fenster und Fenstertüren, oberste Geschossdecken, Kellerdecken und -wände sowie Bodenplatten definiert (Deutscher Bundestag, 1977). Parallel verbesserte sich auch in der DDR mit der Rationalisierungsstufe II der Wärmeschutz.

Monolithische Außenwände bestanden aus porierten Materialien, wie Leichtbeton oder Gasbeton, oder wurden mit immer kleineren Luftkammern versehen. Auch Wärmedämmverbundsysteme erschienen auf dem Markt. (Dr. Klein Wowi Finanz AG, o. J.; Loga et al., 2015, S. 11)

2.3.7 Baualtersklasse 7 – 1984 bis 1994

Mit der zweiten WSchV 1984 und der Rationalisierungsstufe III begann die BK 7, in der erstmals auch Niedrigenergiehäuser gebaut wurden (Deutscher Bundestag, 1984).

Putzfassaden oder hinterlüftete Fassaden aus Stein, Ziegel und Blech sind typisch für die 80er Jahre. Steildächer wurden meist mit Ton- und Betondachsteinen eingedeckt. (Bau-Netz, o. J.)

2.3.8 Baualtersklasse 8 – 1995 bis 2001

Die dritte WSchV tritt am 1. Januar 1995 in Kraft (Deutscher Bundestag, 1995). Hierbei wurde neben der Begrenzung von Wärmedurchgangskoeffizienten die Begrenzung des Jahres-Heizwärmebedarfs definiert. Ansonsten unterscheiden sich die Bauweisen nicht signifikant von denen der vorherigen und nachfolgenden Baualtersklassen.

2.3.9 Baualtersklasse 9 – 2002 bis 2009

Von nun an werden die Baualtersklassen nach den Novellierungen der Energieeinsparverordnungen definiert. Ab 1. Februar 2002 wurden die Wärmeschutz- (WärmeschutzV 95) und Heizungsanlagenverordnung (HeizAnV 1998) in der ersten Energieeinsparverordnung (EnEV) zusammengeführt, die bis einschließlich 7. Dezember 2004 gültig war. Parallel zur Betrachtung von Wärmeverlusten und -gewinnen der Gebäudehülle und Anlagentechnik wurde der U-Wert als Kennwert für die Wärmedämmqualität von Bauteilen definiert und eine Tabelle mit Höchstwerten der Wärmedurchgangskoeffizienten von Bauteilen etabliert. Weitere Novellierungen der EnEV folgten 2004 und 2007, wobei das Anforderungsniveau an die energetische Qualität der Gebäudehülle nicht verändert wurde. Die ab 2002 gültigen maximalen U-Werte definieren demnach die Baualtersklasse 9. (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, 2020; Dena, 2007; Deutscher Bundestag, 2002, 2004)

Ab 2002 liegen die deutschen Bautätigkeitsberichte in digitaler Form vor. Sie zeigen von 2003 bis 2020 in Abbildung 2-5 und Abbildung 2-6 die im Wohnungsbau überwiegend verwendeten Baustoffe für Ein- und Zweifamilienhäuser bzw. Mehrfamilienhäuser auf. In BK 9 dominierte in beiden Kategorien die Mauerwerksbauweise (38 % bzw. 41 % Ziegel; 41 % bzw. 46 % sonstiger Mauerstein).

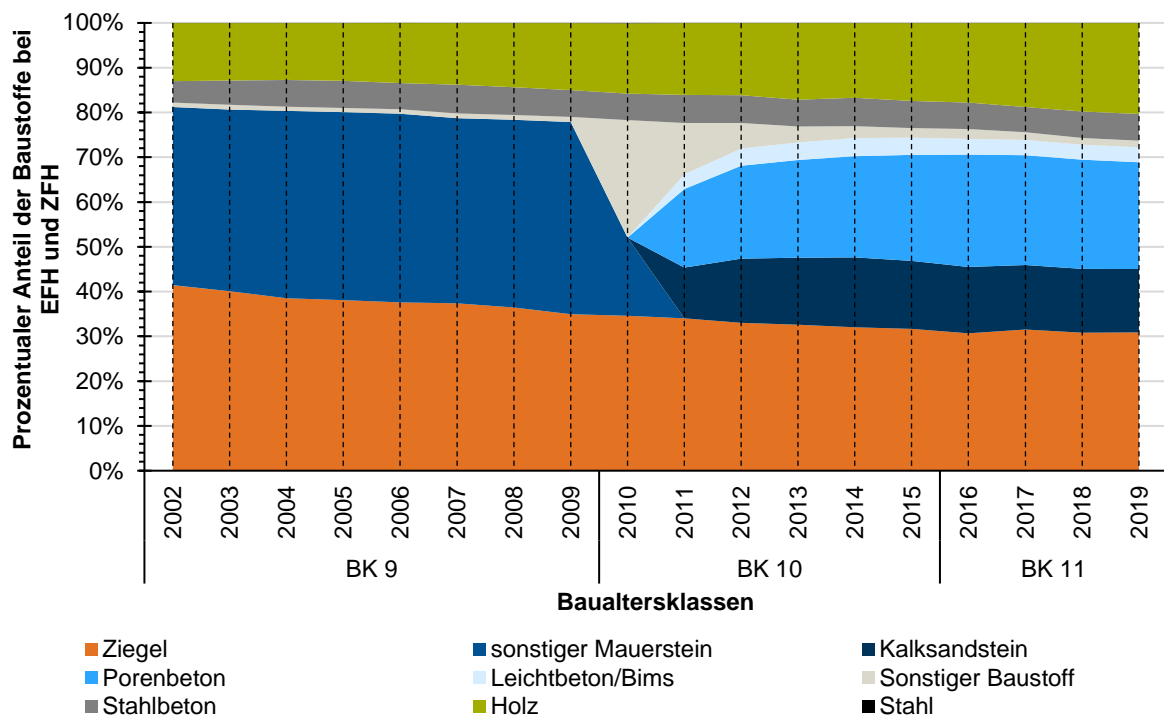


Abbildung 2-5: Prozentuale Anteile der bei Ein- und Zweifamilienhäusern überwiegend verwendeten Baustoffe; eigene Darstellung nach Auswertung von Statistisches Bundesamt (2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2009, 2010a, 2010b, 2011, 2014a, 2014b, 2014c, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020a)

Bei den Ein- und Zweifamilienhäusern besaßen Holzhäuser einen Anteil von 13 %, bei den Mehrfamilienhäusern nur 2 %. Dafür kam Stahlbeton bei den Mehrfamilienhäusern mit einem Anteil von 11 % vermehrt zum Einsatz, der bei Ein- und Zweifamilienhäusern nur einen

Anteil von rund 6 % besaß. Der unregelmäßige Verlauf der Grafiken im Jahr 2010 lässt sich durch die Umstellung der Datenaufnahme und die beginnende separate Aufnahme des Porenbetons, des Leichtbetons/Bims und des Kalksandsteins erklären.

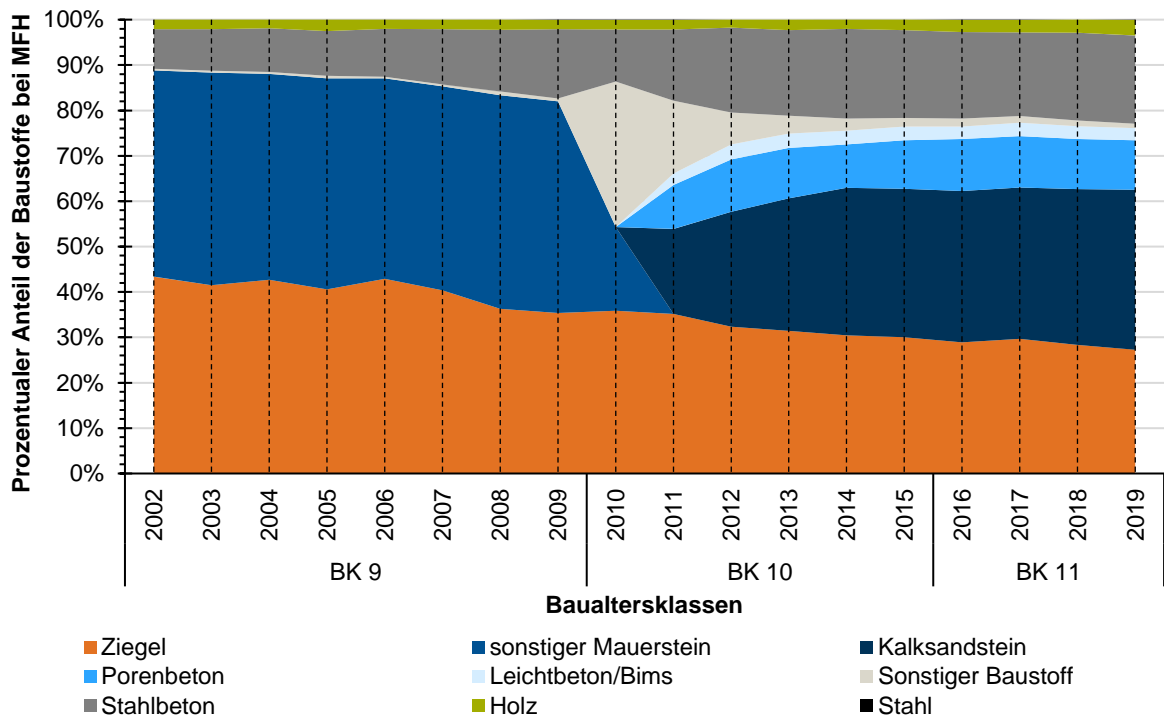


Abbildung 2-6: Prozentuale Anteile der bei Mehrfamilienhäusern überwiegend verwendeten Baustoffe; eigene Darstellung nach Auswertung von Statistisches Bundesamt (2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2009, 2010a, 2010b, 2011, 2014a, 2014b, 2014c, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020a)

Eine Übersicht über die Entwicklung des Dämmstoffmarktes von 1989 bis 2011 liefert Sprengard et al. (2013) in nachfolgender Abbildung 2-7. Mineralwolle dominierte den Markt, gefolgt von expandiertem Polystyrol (EPS). Dies deckt sich mit den Erkenntnissen der Marktanalyse nachwachsender Rohstoffe (meó Consulting Team, 2014).

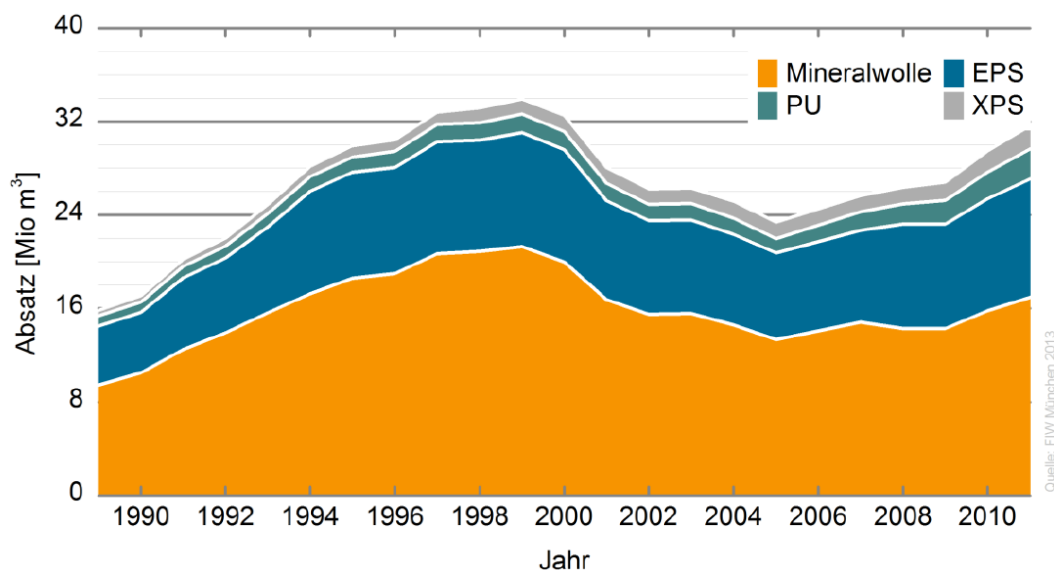


Abbildung 2-7: Absatz der wichtigsten Dämmstoffe in Deutschland in Mio. m³ pro Jahr (1989 - 2011) nach Sprengard et al. (2013)

Polyurethan und extrudiertes Polystyrol (XPS) spielten im Verhältnis eine untergeordnete Rolle, wobei letzteres wegen seiner hohen Druckbelastbarkeit vor allem als Perimeter- oder Flachdachdämmung eingesetzt wurde. Dominierende Einsatzgebiete sind Außenwanddämmungen (53 %) und Dachdämmungen (23 %). Aber auch Innenwände (v.a. Trockenbaukonstruktionen) wurden gedämmt und besaßen in diesen Jahren ein durchschnittliches Marktvolumen von 11 %. Böden und oberste Geschossdecken hatten einen Marktanteil von 8 %. (Sprengard et al., 2013, S. 75)

2.3.10 Baualtersklasse 10 – 2010 bis 2015

Mit der EnEV 2009 verschärften sich ab 1. Oktober 2009 die primärenergetischen Anforderungen für Neubaugebäude und Sanierungen um 30 % gegenüber 2007. Ferner wurde ein Referenzgebäudeverfahren für Wohngebäude eingeführt. Die energetische Qualität der Gebäudehülle inklusive ihrer durchschnittlichen U-Werte wird seitdem über den Vergleich mit dem Referenzgebäude bilanziert, wobei nicht mehr der Höchstwert über das A/V_e -Verhältnis ermittelt wird, sondern über den Gebäudetyp (Dena, 2009, S. 1-4). Die bauliche Umsetzung der EnEV 2009 definiert die BK 10.

Nach Abbildung 2-5, Seite 24 stieg bei Ein- und Zweifamilienhäusern in der BK 10 der Anteil der Holzhäuser leicht auf 17 % (i. M.). Bei Mehrfamilienhäusern nahm die Stahlbetonbauweise auf 18 % zu. Seit 2011 wird beim sonstigen Mauerwerk weiter in Porenbeton, Leichtbeton/Bims und Kalksandstein unterschieden. Porenbeton spielt bei Ein- und Zweifamilienhäusern mit 18 % eine sichtbare Rolle. Bei Mehrfamilienhäusern ist neben dem Ziegel der Kalksandstein relevant (Abbildung 2-6: Anteil von 25 %).

2011 lag der Marktanteil von nachwachsenden Rohstoffen bei 7,2 %, der hauptsächlich durch Holzfaserdämmstoffe und Zellulose-Einblasdämmung gedeckt wurde (meó Consulting Team, 2014, S. 707). Auch bei Wärmedämmverbundsystemen dominieren in dieser BK die in Abbildung 2-7 dargestellten Dämmstoffe Mineralwolle, EPS und XPS (Statista, 2013).

2.3.11 Baualtersklasse 11 – 2016 bis 2020

Mit der EnEV 2013 wurde eine Verschärfung der Gesamtenergieeffizienz für Neubaugebäude ab dem 1. Januar 2016 festgelegt (Deutscher Bundestag, 2014). Da sie zum 1. Mai 2014 in Kraft trat, wird sie teilweise auch „EnEV 2014“ genannt. Diese Verschärfung, die mit einer Verbesserung der Wärmedämmwirkung der Gebäudehülle um ca. 20 % gegenüber der EnEV 2009 einhergeht, definiert die Baualtersklasse 11. (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, o. J.)

Auch die überwiegende Verwendung der Baustoffe änderte sich gegenüber der BK 10 leicht (siehe Abbildung 2-5 und Abbildung 2-6, Seiten 24 und 25). Ein- und Zweifamilienhäuser in Holzbauweise waren nun zu rund 20 % vertreten. Auch verlagerte sich die Bauweise leicht von der Ziegelbauweise hin zur Porenbetonbauweise. Bei den Mehrfamilienhäusern stieg der Anteil der Kalksandsteingebäude.

Der Marktanteil von Dämmungen aus nachwachsenden Rohstoffen stieg von 2011 bis 2019 um 2 % auf insgesamt 9 %, wobei davon 58 % auf Holzfasern und 32 % auf Zellulose zurückzuführen sind. Fossile Dämmstoffe dominierten den Markt mit einem Anteil von 48 % knapp vor den mineralischen Dämmstoffen mit einem Anteil von 43 %. (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 2021; meó Consulting Team, 2014)

2.4 Typische Bauteilaufbauten

Es existieren für Deutschland keine Publikationen mit einer umfangreichen Betrachtung typischer Bauteilaufbauten für Wohngebäude, die ausreichende Angaben zu statistischen Verteilungen aufweisen und hier als Grundlage für die Entwicklung von ökologischen Kennwerten verwendet werden könnten. Dies ist mitunter in der Vielfältigkeit der Bauweisen und in den historischen, regionalen Rohstoffverfügbarkeiten begründet. Jedoch sind bis zur BK 8 Studien zu Beispielkonstruktionen bzw. Bauteilaufbauten mit repräsentativem Charakter bekannt, die nachfolgend beschrieben werden.

2.4.1 Atlas Sanierung

Wie dem Kapitel 2.3 ab Seite 21 zu entnehmen ist, liefert der Atlas Sanierung im Kontext von vier wesentlichen Bauzeitphasen Angaben und detaillierte Beschreibungen zu zeittypischen Materialverwendungen und Bauausführungen (Giebeler et al., 2008, S. 117-205). Ab 1920 war die Ausführung von Ortbetondecken typisch. Sie lösten sukzessive die bis dahin weit verbreiteten Holzbalkendecken ab (Giebeler et al., 2008, S. 119). Da Holz nach dem Krieg Mangelware war, wurden die Decken massiv ausgeführt (Giebeler et al., 2008, S. 182). Bewehrt wurden die Betonbauteile erst ab 1950, vermehrt ab 1965, vor allem im Geschosswohnungsbau und Hochhausbau (Giebeler et al., 2008, S. 192). Vorher dominierten bei Kellerbauteilen Stampfbeton, unbewehrter Beton, Bruchstein oder Ziegel (Giebeler et al., 2008, S. 120). Bei Einfamilienhäusern fanden Stampfbetonkellerwände noch länger Anwendung. Ab 1965 wurden wieder vermehrt Holzhäuser gebaut, wobei sich hierzu in der Literatur keine Bauteilkataloge finden lassen. Der Großteil der Außenwände wird über alle Bauzeiten hinweg einschalig ausgeführt. Beispielsweise bestehen über 95 % der oberirdischen Außenwände bei Gründerzeitbauten (1870 bis 1920) aus Ziegeln (Giebeler et al., 2008, S. 138). Hierzu finden sich fundierte Literaturangaben (Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V., 2009b). Mit Beginn der Gründerzeit kamen Naturstoffe (Torf, Kork) als Dämmung zum Einsatz, welche ab 1920 teilweise von Holzwolleleichtbauplatten abgelöst wurden. Künstliche Mineralfasern wurden ab ca. 1950 eingesetzt und ab 1965 kamen vermehrt geschäumte Kunststoffe hinzu (Giebeler et al., 2008, S. 121).

Diese Einzelinformationen ergänzen die in Kapitel 2.3 typisierten Materialangaben zu den jeweiligen Baualtersklassen. Sie werden für die Entwicklung der ökologischen Kennwerte verwendet, um Literaturlücken durch spezifische Annahmen zu schließen. Darüber hinaus werden die in Giebeler et al. (2008) beschriebenen Bauteilaufbauten nicht in den Bauteilkatalog (vgl. Kapitel A.2 ab Seite 232) übernommen, weil die Materialbeschreibungen lückenhaft und relativ unspezifisch sind.

2.4.2 Deutschlandkarte für Altbaukonstruktionen

BMWl und BMI (2020) weisen in ihren „Bekanntmachungen zu den Regeln der Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand“ unter Abschnitt 3.1 auf die Verwendbarkeit von Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V. (2009a, 2009b) hin. Diese Studie erstellt eine Deutschlandkarte zu Altbaukonstruktionen und erfasst insgesamt 181 regionaltypische Konstruktionen der wärmeübertragenden Umfassungsfläche von Wohngebäuden. Ziel der Studie ist die Identifizierung der jeweiligen U-Werte als Grundlage für die energetische Gebäudesanierung. Zwar wird kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben (siehe Abbildung 2-8), aber die Publikation gilt als Zusammenführung gesicherter Erfahrungswerte. Dabei wurden die einzelnen Regionen unterschiedlich detailliert erhoben. Die orangenen Bereiche in Abbildung 2-8 zeigen umfassend erfasste, die transparent-orangen teilweise erfasste und die grauen nicht erfasste Regionen. Die Baualtersklassen werden wie bei Giebeler et al. (2008) nach geschichtlichen Hintergründen sowie politischen und wirtschaftlichen Einflüssen definiert, wobei auf diese nicht näher eingegangen wird.

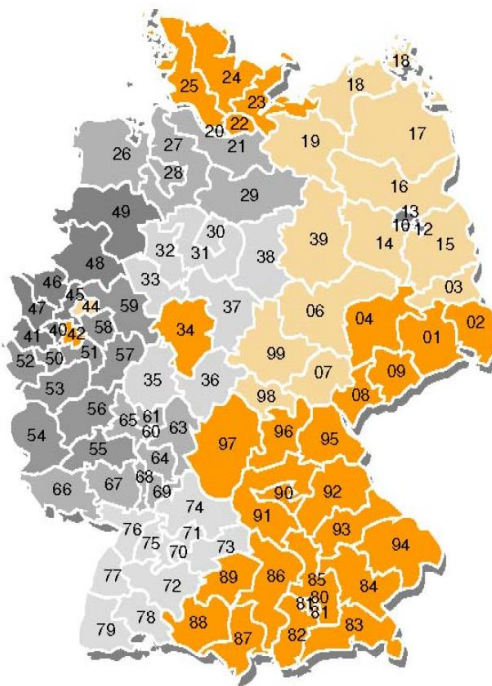


Abbildung 2-8: Erfassung der Altbaukonstruktionen nach Postleitzahlgebieten nach Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V. (2009a, S. 21)

Ein wesentlicher Vorteil der Publikation sind detaillierte Beschreibungen der Konstruktionsaufbauten, welche die Materialeigenschaften (Rohdichte und Wärmeleitfähigkeit), Schichtdicken und bildhafte Darstellungen umfassen. Somit wird eine Ökobilanzierung des jeweiligen Materialeinsatzes mit Hilfe der ÖKOBAUDAT (BBSR, o. J.) ermöglicht. Deshalb dient diese Publikation als eine der zwei wesentlichen Literaturquellen für die Berechnung der ökologischen Kennwerte, sowohl für den Altbestand als auch für Sanierungsmaßnahmen. Nachteilig ist jedoch, dass die Beschreibung regionaltypischer Bauteilaufbauten mit dem Jahr 1994 (BK 7) endet und hierfür aus anderer Quelle typische Konstruktionen identifiziert werden müssen.

2.4.3 Stofflich-energetische Gebäudesteckbriefe und Bauwerksdatenbank

Zur Identifizierung der stofflichen Zusammensetzung und des energetischen Zustands des deutschen Wohngebäudebestandes haben Gruhler et al. (2002) Gebäudesteckbriefe für Ein-/Zweifamilienhäuser und Mehrfamilienhäuser erstellt. Neben der stofflichen Massenermittlung erfolgt eine ökologische Bilanzierung mit den Umweltindikatoren Kumulierter Energieaufwand (KEA), Versauerungspotential und Treibhauspotential.

Da der deutsche Wohngebäudebestand durch eine Vielzahl unterschiedlicher Gebäude charakterisiert wird, werden im Rahmen dieser Arbeit repräsentative Gebäudetypenvertreter gebildet, wobei der Fokus auf den neuen Bundesländern liegt.

- Typologie der Mehrfamilienhäuser: Die Typologie der Mehrfamilienhäuser wird anhand von zehn repräsentativen Wohngebäuden von 1870 bis nach 1990 beschrieben. Dabei bedient sich die Studie u. a. eines Gebäudeatlas, der auf Basis einer Analyse von 910 Wohngebäuden Typenvertreter definiert. (Gruhler et al., 2002, S. 18-22)
- Typologie der Einfamilienhäuser: Zur stofflich-energetischen Beschreibung der Einfamilienhäuser werden ebenfalls acht Typenvertreter vorgestellt. Als Quelle wird zum einen eine Projektauswahl aus Angebotsprojekten genannt, welche ungefähr die Wohngebäude der 60er bis 80er Jahre abbildet. Berücksichtigt werden dabei Einzelhäuser, Reihenhäuser und Doppelhäuser. Zum anderen wird die Typologie der Einfamilienhäuser noch durch zwei nach 1990 errichteten Häusern ergänzt. (Gruhler et al., 2002, S. 18-24)

Die Datenlage dieser Studie ist für die Entwicklung ökologischer Kennwerte gut geeignet, da durch die Auswahl von Typenvertretern ein breites Spektrum an typischen Konstruktionen von Wohngebäuden abgebildet wird. Zudem finden sich in der Studie Gebäudesteckbriefe, die detaillierte Informationen zu jedem Bauteil aufweisen. Neben genauer Art und Dicke der einzelnen Bauteilschichten werden auch Angaben zu den Flächenverteilungen der Bauteile gemacht. Dies ist besonders hilfreich und fehlt in anderen Studien, die primär den energetischen Zustand des Gebäudebestandes durch Angabe der U-Werte und einzelner materialspezifischer Wärmeleitfähigkeiten beschreiben (vgl. Loga et al., 2015).

Ähnlich wie beim Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V. (2009a, 2009b) endet die Beschreibung der Konstruktionen zunächst mit der BK 7.

Die in dieser Studie beschriebenen Gebäudesteckbriefe finden sich jedoch teilweise auch in der Bauwerksdatenbank für Wohngebäude des IÖR wieder. Hier werden die Gebäudesteckbriefe nicht nur zur Beschreibung der Wohngebäude der neuen Bundesländer, sondern auch der alten Bundesländer verwendet. Zudem werden die Gebäudesteckbriefe von vier der acht Einfamilienhäuser, die sich bei Gruhler et al. (2002) wiederfinden, für die Beschreibung der Wohngebäude bis einschließlich der Baualtersklasse 10 herangezogen. (IÖR, o. J.)

2.4.4 Fensterstudie

Mit der VFF-BF-Studie „Mehr Energie sparen mit neuen Fenstern“ wurde ein umfassender Überblick über die produzierten Fenster von 1971 bis 2016 veröffentlicht. Die Daten umfassen die jährlichen Produktionszahlen verschiedener Glas- und Rahmentypen. Dokumentiert sind die jährlichen Marktanteile von Ein-, Zwei- und Dreifachverglasungen sowie von Holz-, Kunststoff-, Aluminium- und Holz-Aluminiumrahmen, inklusive ihrer typischen U-Werte. Wie aus Abbildung 2-9 hervorgeht, wurden mit Beginn der 80er Jahre Kunststoff- und Holzrahmen etwa in gleicher Anzahl produziert. Ab 1990 verdrängten Kunststoffrahmen die Holzrahmen. Der Marktanteil der Aluminiumrahmen sank ab 1980. Ab 1986 kamen die Holz-Aluminiumrahmen auf den Markt, wobei sie im weiteren Verlauf eher einen geringen Marktanteil einnehmen (1 bis 9 %). (Verband Fenster und Fassade und Bundesverband Flachglas e.V., 2017)

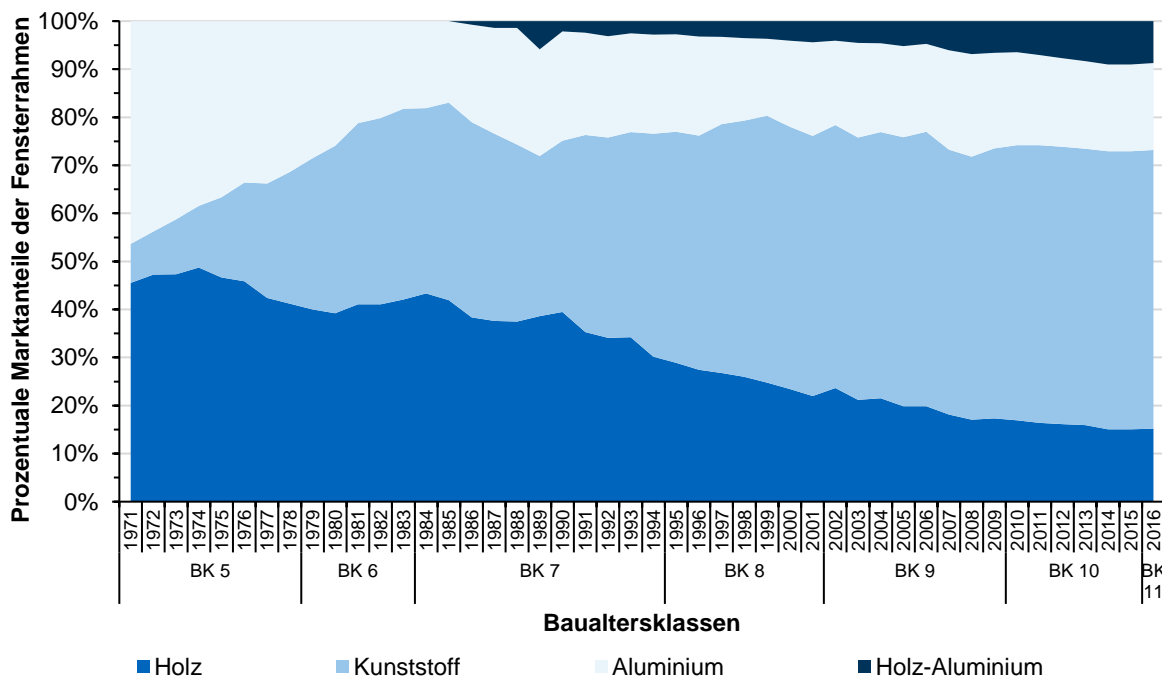


Abbildung 2-9: Deutsche Marktanteile der Fensterrahmen von 1971 bis 2016; eigene Darstellung nach Verband Fenster und Fassade und Bundesverband Flachglas e.V. (2017)

Mit Hilfe der angegebenen U-Werte sowie der Veröffentlichung des BMWI und BMI (2020) können somit auch für die älteren Baualter mögliche Fensterkonstruktionen abgeleitet werden (siehe Kapitel 3 ab Seite 53).

2.4.5 Ergänzende Recherchen und Annahmen

Wie in den vorherigen Kapiteln erwähnt, gibt es ab 1996 keine Literaturquellen, die über umfangreiche Dokumentationen zu typischen oder repräsentativen deutschen Baukonstruktionen verfügen. So müssen für Konstruktionen ab 1996 Annahmen getroffen werden, die auf aktuellen Herstellerangaben, spezifischen Materialrecherchen oder eigenen

2.4 Typische Bauteilaufbauten

Praxiserfahrungen beruhen. Hierzu zählt die Abschätzung realistischer Bauteildicken und Materialzusammensetzungen (z. B. Bewehrungsgehalt von Stahlbeton), die nach statischen und bauphysikalischen Gesichtspunkten erarbeitet und geprüft werden.

Holzbaukonstruktionen neueren Baualters (ab BK 9) können auf Basis des Bauteilkataloges von dataholz.eu (2021) gebildet werden. Auf der Webseite wird ein Bauteilkatalog zur Verfügung gestellt, der bauphysikalisch und ökologisch geprüfte Bauteilaufbauten und -fügungen enthält, die auch als Grundlage für die Nachweisführung gegenüber Baubehörden herangezogen werden können.

2.5 Definition, Aufbau und Verwendung von 3D-Stadtmodellen

Die automatisierte Verknüpfung ökologischer Kennwerte von Baukonstruktionen mit Gebäudekubaturen bzw. Bauteilflächen aus 3D-Stadtmodellen ermöglicht eine schnelle Berechnung von Umweltwirkungen sowie von energetischen und stofflichen Ressourcenverbräuchen auf Quartiers- oder Stadtebene und von ganzen Regionen. Im Rahmen dieser Dissertation wird eine Methode entwickelt, die diese Verknüpfung erlaubt. Nachfolgend wird der Begriff „3D-Stadtmodell“ und die Verwendungsmöglichkeiten, insbesondere in der vorliegenden Arbeit, erläutert.

Unter einem 3D-Stadtmodell versteht man in dieser Arbeit ein virtuelles, dreidimensionales (räumliches) Modell städtischer Strukturen. Grundlage hierfür ist GIS (engl. „Geographic Information System“), ein Informationssystem, mit dem raumbezogene Informationen digital erfasst, verwaltet, analysiert und präsentiert werden können. Es kombiniert georeferenzierte digitale Karten mit verschiedenen Sachdaten bzw. Datenbanken unterschiedlicher Informationen. Somit können räumliche Spezifika identifiziert und verarbeitet werden. Ein weiterer Vorteil ist die grafische Darstellung und somit gute Visualisierbarkeit von Daten. Das Open Geospatial Consortium (OGC) entwickelte hierfür das offene Format CityGML, um eine einheitliche Datenstruktur zur Speicherung und zum Austausch virtueller semantischer 3D-Stadtmodelle aufzubauen (Bill, 2003; OGC, 2022). Alternativ erarbeiteten sie auch das Open-Source-Format CityJSON, deren Dateien wesentlich kleiner sind als die des CityGML-Formats (Ledoux und Dukai, 2021).

CityGML ist mittlerweile in der Version 3.0 verfügbar (OGC, 2022). CityJSON liegt in der Version 1.1 vor, wobei die Formate zueinander konform sind. Nutzenden ist es freigestellt, welches Format verwendet werden soll. Eine spätere Umstellung ist möglich.

Mit semantischen 3D-Stadtmodellen können Straßen, Brücken, Vegetation, Flüsse, Seen oder andere Infrastrukturen abgebildet werden, die jeweils als sogenannte „CityGML modules“ definiert sind. Die Gebäude können in unterschiedlichen Detaillierungsgraden (engl. „Level of Detail“, kurz: LoD) dargestellt werden. Dabei unterscheiden sich die LoD-Konzepte der CityGML-Versionen 2.0 und 3.0. In der Version 2.0 werden Gebäudemodelle im LoD1 (siehe Abbildung 2-10, links) als dreidimensionale Gebäudeblöcke wiedergegeben. Das heißt, dass auf Basis ihrer Grundfläche und ihrer Höhe ein Quader erstellt wird. Die Genauigkeit in Position und Höhe beträgt 5 m. Gebäudemodelle im LoD2 verfügen im Gegensatz zu Gebäudemodellen im LoD1 über Informationen zu verschiedenen Dachformen (siehe Abbildung 2-10, rechts). So können Flach- oder Steildächer identifiziert werden, wobei auch Gauben sichtbar gemacht werden können. Die Genauigkeit in Position und Höhe beträgt 2 m. Zu beachten ist, dass in der CityGML-Version 2.0 nur die Gebäudehüllflächen visualisiert werden und die Innenflächen (z. B. Innenwände und Geschosdecken) sowie Fensterflächen verborgen bleiben. (Gröger et al., o. J., S. 12; LfDBV Bayern, o. J.b)

Mit Einführung der Version 3.0 wurde das LoD-Konzept überarbeitet. Theoretisch ist es nun möglich den Innenraum von Objekten auch im LoD1 bis LoD3 zu beschreiben. Somit liegt eine Datenstruktur vor, in der im LoD2 neben den Gebäudehüllflächen auch die Flächen von Geschossdecken oder Innenwänden zu finden sind. (TU München - Lehrstuhl für Geoinformatik, o. J.d)

Diese Arbeit fokussiert sich jedoch auf die Verwendung der Gebäudeinformationen im CityGML-Format 2.0. Denn hier ist entgegen des neuen 3.0-Formats ein wesentlicher Vorteil, dass deutschlandweit bereits flächendeckende 3D-Gebäudemodelle im LoD2 vorhanden sind (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, 2022). Sie werden von den Landesvermessungsämtern zur Verfügung gestellt und können somit für großflächige Betrachtungen verwendet werden (LfDBV Bayern, o. J.b). Bayern oder Städte, wie Berlin stellen ihre Modelle kostenfrei zur Verfügung, was ihre Verwendung zusätzlich fördert (LfDBV Bayern, o. J.c).

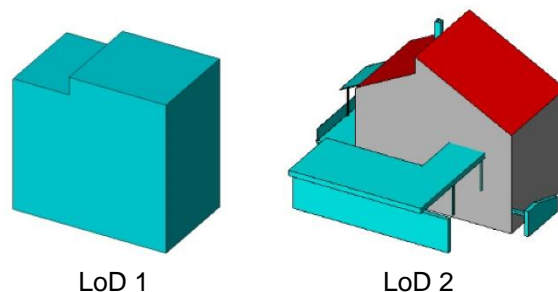


Abbildung 2-10: 3D-Gebäudemodelle; links im LoD1 und rechts im LoD2 nach Gröger et al. (O. J., S. 67)

Die Datenstruktur von CityGML definiert Objekttypen/Klassen und Attribute. Das Modul „Building“ kann dabei in weitere Klassen strukturiert und durch verschiedene Attribute spezifiziert werden. Die Objektstruktur in CityGML und deren Schnittstellen können mit UML-Diagrammen beschrieben werden. Abbildung 2-11 zeigt beispielsweise die Zuordnung des Moduls „Building“ innerhalb des „_CityObject“.

Die Struktur folgt dabei immer einer eindeutigen Richtung (siehe Pfeilspitzen). Die blaue Einfärbung der Klassen zeigt an, dass diese Objekte/Klassen Bestandteile des übergeordneten „CityGML-Core-Moduls“ sind. Sie erhalten das Präfix „core“. Das Core-Modul definiert alle Basiskomponenten des CityGML-Datenmodells. Gelb werden die Klassen eingefärbt, die gerade im Mittelpunkt der Betrachtung stehen (also hier „Building“). Mit Hilfe des Moduls „Building“ können die Gebäude thematisch und räumlich beschrieben werden. Dazu gehören einzelne Gebäudeteile, Installationen und Angaben zu innenliegenden Gebäudestrukturen. „Feature“ steht dabei für ein identifizierbares und unterscheidbares Objekt, das vom GML-Typ „AbstractFeatureType“ abgeleitet ist. Im Objekt „Geometry“ wird die Geometrie des Objektes nach unterschiedlichen Detaillierungsgraden (hier: LoD1 bis LoD4) definiert. Mit Hilfe von CityGML ist es ebenfalls möglich, einzelne 3D-Objekte, wie Gebäude zu Gebäudekomplexen zusammenzufassen und so ganze Quartiere gleichzeitig zu betrachten. (Gröger et al., o. J., S. 4-20)

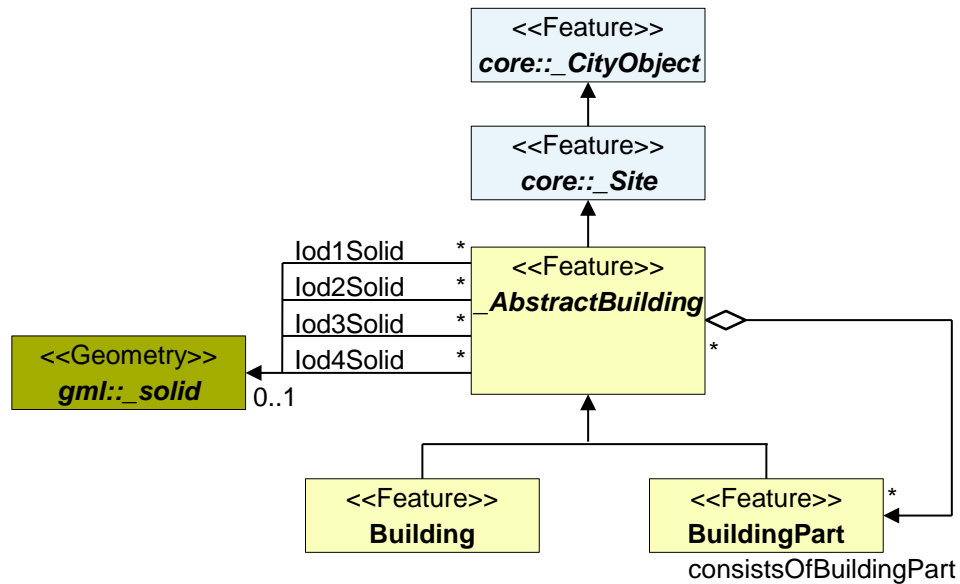


Abbildung 2-11: Beispiel für die Darstellung und Farbcodierung eines UML-Diagramms, wie es zur Definition von CityGML verwendet wird, nach Gröger et al. (O. J.)

Die Grundlagen, um eine LCA auf Quartiersebene unter Verwendung einer Verknüpfung von ökologischen Kennwerten von Baukonstruktionen zu berechnen, bringt die Struktur von 3D-Stadtmodellen im CityGML-Format bereits mit sich. Möglichkeiten zur Verknüpfung der ökologischen Kennwerte mit den relevanten Informationen aus 3D-Stadtmodellen werden in Kapitel 4 ab Seite 107 beschrieben. Dabei wird spezifisch auf die bereits vorhandenen Datenstrukturen des CityGML-Formats eingegangen.

2.6 Sensitivitätsanalyse

Unsicherheits- bzw. Sensitivitätsanalysen sind bei der Ermittlung des betrieblichen Energiebedarfs mittlerweile weit verbreitet (Tian et al., 2018). In ihrer Regelanwendung umfasst eine LCA keine quantitative Unsicherheits- bzw. Sensitivitätsanalyse, sondern es erfolgt höchstens die qualitative Benennung der Unsicherheiten. Eine Unsicherheitsanalyse erfasst die Auswirkungen von schwankenden Eingangswerten auf die Varianz des Endergebnisses. Mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse lässt sich bewerten, wie stark variierende Eingangswerte die Varianz des Gesamtergebnisses beeinflussen. Durch diese Analysen kann die Belastbarkeit der Ergebnisse oder der Einfluss verschiedener Parameter bewertet werden.

Besonders bei einer Betrachtung auf Quartiersebene ist es wichtig, die Unsicherheiten bei den Eingangsparametern und deren Auswirkungen auf das Ergebnis zu kennen, denn hier müssen zu Gunsten einer effizienten Bilanzierung gewisse Annahmen getroffen werden. Bei einer LCA auf Gebäudeebene erlaubt es der zeitliche Spielraum mehr ins Detail zu gehen. Die LCA von Baukonstruktionen wird beispielsweise durch die Bestimmung typischer Materialien und Schichtenaufbauten sowie durch die Auswahl geeigneter LCA-Datensätze beeinflusst. Hier sind Neubaukonstruktionen und Konstruktionen jüngerer Bauzeit zu erwähnen, für die noch keine allgemeingültigen Bauteilkataloge existieren (vgl. Kapitel 2.4, Seite 28).

Unter Berücksichtigung verschiedener Konstruktionsaufbauten entstehen je Baualterklasse minimale und maximale Werte für Umweltwirkungen, deren Einfluss auf das Quartiersergebnis diskutiert werden muss. Weiter sind Unsicherheiten bei der Annahme von geometrischen Eigenschaften zu nennen, die nicht direkt aus dem 3D-Stadtmodell hervorgehen, aber größere Auswirkungen auf das Endergebnis haben können (Schneider-Marin et al., 2020). Diese Auswirkungen müssen projektspezifisch genauer betrachtet werden. Auch ihr Wertebereich muss konkretisiert werden.

2.6.1 Sensitivitätsanalysen bei der LCA

Sensitivitätsanalysen helfen die Qualität von Berechnungsmodellen zu prüfen, das Vertrauen in die Ergebnisse zu stärken oder maßgebende Einflussparameter zu identifizieren. Die Literatur verweist auf verschiedene Sensitivitätsanalysemethoden, die bei Lebenszyklusanalysen in verschiedenen Fachbereichen wie der Landwirtschaft oder dem Energie- oder Gebäudesektor durchgeführt werden (Lloyd und Ries, 2007).

Um die ökologische Qualität von Gebäuden oder größeren Gebäudekomplexen signifikant verbessern zu können, muss die LCA in frühen Planungsphasen ausgeführt werden. Denn nur so erkennen Entscheidungsträger:innen rechtzeitig die Auswirkungen gewisser Planungsunsicherheiten – z. B. Wahl der Wertebereiche der Eingangsparameter – auf das

Ergebnis der LCA. Fehlentscheidungen oder Falscheinschätzungen können somit vermieden werden. (Schneider-Marin et al., 2020)

Lo et al. (2005) führen eine Fallstudie zur Beurteilung alternativer EoL-Szenarien in Abhängigkeit des GWP durch. Hierbei kombinieren sie die Bayesische Wahrscheinlichkeitsmethode (Methode nach dem Satz von Bayes; siehe Glossar ab XIII) mit der Monte Carlo Methode (Methode zur Generierung von definierten Zufallsexperimenten; siehe Kapitel 2.6.2). Die Ergebnisse zeigen, dass die Durchführung einer quantitativen Unsicherheitsanalyse mehr Informationen generiert als eine deterministisch angelegte LCA, und dass die daraus entstehenden Diskussionen zu unterschiedlichen Ergebnissen führen kann. Die Ermittlung der Korrelationskoeffizienten (spezifisches Maß, um die Stärke der linearen Beziehung zwischen Variablen zu quantifizieren) der Inputparameter helfen zudem die Parameter zu identifizieren, die durch ihr Variieren die größte Varianz im Endergebnis hervorrufen.

Ewertowska et al. (2017) beschäftigten sich mit einer Unsicherheitsanalyse der LCA in Kombination von Datenentwicklungsanalysen. Auch sie ziehen das Fazit, dass die Ergebnisse deterministischer Berechnungen signifikant von den Ergebnissen abweichen können, die unter Berücksichtigung von Unsicherheiten berechnet werden. Unsicherheitsanalysen sollten zwingend eingeführt werden, um die Validität der deterministischen Berechnung besser bewerten zu können.

2.6.2 Monte Carlo als Methode bei Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen

Eine Monte Carlo Simulation generiert Zufallsexperimente mit Hilfe eines Computers. Dabei werden durch Vorgabe bestimmter Wertebereiche in Kombination mit gewissen Wahrscheinlichkeitsverteilungen Zufallsexperimente bzw. Stichproben erzeugt. Dieser Vorgang der Stichprobenerhebung wird als „Sampling“ bezeichnet. (Kroese, 2014; Kroese et al., 2014)

Die Monte Carlo Simulation hat sich im Bereich der Unsicherheitsanalysen von Gebäudesimulationen durchgesetzt. Als Beispiel kann hier die Wahrscheinlichkeitsverteilung und Sensitivitätsanalyse von Energiebedarfsberechnungen genannt werden (Maderspacher, 2017; Regel, 2016).

Die Anwendung der Monte Carlo Simulation ist auch bei Unsicherheitsanalysen im Bereich der LCA weit verbreitet und wird dafür empfohlen (Heijungs, 2020). Hierbei sind einige grundsätzliche Regeln und Anwendungsbedingungen einzuhalten. Die Untersuchungen von Heijungs et al. (2020) sowie von Regel (2016) zeigen, dass z. B. die Anzahl der Monte Carlo Durchläufe nicht größer als die Stichprobennahme der Inputparameter sein sollte. Je nach Umfang der Eingabeunsicherheiten können verschiedene Unterarten der Stichprobenerhebung (Sampling) gewählt werden.

Groen et al. (2014) beschäftigen sich mit fünf Methoden, um im Rahmen einer LCA eine Stichprobenerhebung (Sampling) zu generieren. Dabei vergleichen sie das gängige Monte Carlo Sampling mit vier weiteren Samplingmethoden und legen fest, dass die Monte Carlo Simulation angewendet werden soll, wenn die Eingabeunsicherheiten groß sind.

Darüber hinaus zeigt sich, dass das sogenannte Quasi Monte Carlo Sampling das Monte Carlo Sampling bezüglich seiner Genauigkeit der Standardabweichung zum Stichprobenmittel übertrifft, und zwar unabhängig von der Verteilungsart oder des Variationskoeffizienten (Maß für die relative Streuung) der Inputparameter.

Eine weitere sogenannte zufällige Stichprobenerhebung stellt das Sobol Sampling dar, das auf Basis der Monte Carlo Simulation gebildet werden kann. Es eignet sich vor allem bei steigender Zahl der Eingangsparameter, da das Modellergebnis schneller zum geschätzten Mittelwert hin konvergiert. Grund dafür ist, dass bei der Generierung einer Stichprobe fortwährend bereits gezogene Stichprobenwerte berücksichtigt werden. Dies führt final auch zu einer gleichmäßigeren Verteilung der Zufallsexperimente. Im weiteren Schritt kann durch Sensitivitätsindizes die Abhängigkeit einer Variable (Ergebnis) von den unabhängigen Variablen (Eingangsparameter) dargestellt werden (Regel, 2016, S. 45-46).

Das Sobol Sampling wird deshalb bei der hier durchgeführten Sensitivitätsanalyse verfolgt und umgesetzt, um die Ergebnisse des Fallbeispiels und die vorhandenen Unsicherheiten besser bewerten zu können (siehe Kapitel 5.4 ab Seite 166).

2.7 Ökologische Kennwerte für Baukonstruktionen

2.7.1 Internationale Studien zu Wohngebäuden

Die nachfolgenden Ausführungen sind das Ergebnis einer Literaturrecherche zur internationalen Verbreitung von Studien, die sich mit der ökologischen Qualität verschiedener Bauweisen im Wohnungsbau beschäftigen. Es gilt zu klären, ob und in welchem Umfang bereits Referenzwerte vorhanden sind, welche Bezugseinheiten gewählt werden, zu welchem Zweck die Studien erstellt sind und welche Ausgangssituation sich daraus für die vorliegende Arbeit ergibt.

Entwickelte Kennwerte werden meist auf Gebäudeebene dargestellt und auf die Bruttogrundfläche (BGF), die Nettoraum- (NRF) bzw. Nettogrundfläche (NGF) der Gebäude oder die Wohn(nutz)fläche (WFL oder WNF) bezogen. Lavagna et al. (2018) erarbeiten z. B. Kennwerte für 24 repräsentative europäische Wohngebäude. Ziel ist es, Referenzwerte für durchschnittliche Umweltwirkungen von europäischen Wohngebäuden für die Entwicklung von politischen Strategien – wie Energieeffizienz- oder Klimaziele – zu generieren.

Eine umfassende Analyse von 238 weltweiten Fallbeispielen (Wohn- und Bürogebäude) befasst sich mit dem Einfluss der Effizienzsteigerung im Betrieb auf die lebenszyklusbasierten Treibhausgasemissionen. Sie arbeitet deutlich heraus, dass die Grauen Emissionen der Baukonstruktion zukünftig in den Vordergrund rücken, vor allem, wenn hoch effiziente Gebäude umgesetzt werden. Anteile der Grauen Emissionen von 45 bis 50 % sind global betrachtet die Regel, wobei sie im Extremfall bis zu 90 % der lebenszyklusbasierten Treibhausgasemissionen einnehmen können. Das durchschnittlich ermittelte GWP für bestehende Wohngebäude beträgt hierbei 6,7 bis 11,2, für Neubauten 3,3 bis 13,3 kg CO₂-Äq. pro m²_{BGF} und Jahr. (Röck et al., 2020)

Diese Werte werden auf den Zielwert der Swiss SIA 2040 bezogen. Der Wert beruht auf dem Ansatz der „2000 Watt Gesellschaft“ und hat die Klimaneutralität bis 2050 zum Ziel. (Swiss Society of Engineers and Architects, 2017)

Vor diesem Hintergrund sollten lebenszyklusbasiert auf die Konstruktion nicht mehr als 9,0 kg CO₂-Äq. pro m²_{BGF} und Jahr entfallen (Röck et al., 2020).

Die Studie von Röck et al. (2020) berücksichtigt allerdings nur die aktuellen Bau- und Neubaustandards. Auswirkungen von Renovierungsmaßnahmen werden nicht untersucht. Außerdem wird bemängelt, dass die Plausibilität und Repräsentativität der Fallstudien und ihrer Ergebnisse nicht gänzlich kontrolliert werden können, da kein Zugriff auf die zugrunde liegenden Daten besteht.

Bei der Darstellung ökologischer Kennwerte kann ferner ein Review von Soust-Verdaguer et al. (2016) genannt werden, welches auf 20 Studien zu Einfamilienhäusern verweist, die innerhalb von fünf Jahren veröffentlicht wurden. Ökobilanzierungen finden sich daneben

beispielhaft auch in anderen internationalen Publikationen (Bastos et al., 2014; Marceau und VanGeem, 2006; Monteiro und Freire, 2012; Petrovic et al., 2019; Peuportier, 2001; Takano et al., 2015; Tonooka et al., 2014).

Die betrachteten Studien spiegeln die internationale Situation gut wider. Sie belegen die Notwendigkeit einheitlicher Benchmarks zur Durchführung von ökologischen Lebenszyklusanalysen in frühen Planungsphasen. So fordern auch Frischknecht et al. (2019), dass europaweit verbindlich lebenszyklusbasierte Benchmarks für Wohngebäude eingeführt werden sollten. Die bisherigen Benchmarks müssen dabei überarbeitet werden, da zwischen existierenden Benchmarks und der Erreichung der Klimaneutralität sowie des 1,5°C-Ziels zur Begrenzung der Erderwärmung eine signifikante Abweichung besteht (Frischknecht et al., 2019).

Hier setzt die vorliegende Arbeit an, indem für Deutschland eine repräsentative und breite Datenbasis zu den Umweltwirkungen von Alt-, Sanierungs- und Neubaukonstruktionen geschaffen wird. Häfliger et al. (2017) zeigen mit ihrer Unsicherheitsanalyse, wie wichtig die Verwendung einheitlicher und transparenter Systemgrenzen und Datengrundlagen ist, um die Ergebnisvariationen gering zu halten. Je nach Wahl der funktionalen Einheiten, des Datensatzes und der einzelnen Nutzungsdauern können einzelne Bauteile oder Materialien signifikanten Einfluss auf das GWP eines Gebäudes nehmen. So beeinflussen in dieser Studie die Fenster und Dämmmaterialien das lebenszyklusbasierte GWP mit einem Anteil von mindestens 10 %. Jedoch kann sich das Ergebnis um bis zu 20 % verändern, wenn andere Datensätze gewählt werden.

2.7.2 Nationale Studien zu Wohngebäuden

Im Anschluss an die Diskussion zur internationalen Verbreitung von LCA-Studien stellt sich die Frage, inwiefern die Ergebnisse bisheriger LCA-Studien zum deutschen Wohngebäudebestand für die nachfolgende Arbeit herangezogen werden können. Der Fokus liegt auf Studien, die ökologische Kennwerte für verschiedene Baukonstruktionen und Bauweisen ausweisen.

Wie in Kapitel 2.4.3 (Seite 30) erläutert wird, beinhaltet die Studie von Gruhler et al. (2002) nicht nur Angaben zu repräsentativen Baukonstruktionen aus verschiedenen Baualterklassen, sondern mit der Studie werden auch ökologische Kennwerte zum KEA und Treibhausgaspotential ausgegeben. Eine direkte Verwendung dieser Kennwerte ist jedoch im weiteren Verlauf nicht möglich, da sie auf einer veralteten Datenbasis beruhen und die Indikatoren PENRT und PET flächendeckender verwendet werden als der KEA.

König (2017) untersucht in einer normkonformen Variantenstudie 72 verschiedene Ausführungen eines zweigeschossigen Einfamilienhauses ohne Keller, wobei verschiedene Bauweisen, Energiestandards und Beheizungsarten modelliert werden. Die Baustoffwahl

erfolgt beispielhaft für die gängigsten Bauweisen auf Basis der Baustatistiken von 2015 (siehe hierzu auch Statistisches Bundesamt (2016)).

Die Studie liefert Ergebnisse für GWP, PET und PENRT sowie weitere Umweltwirkungen je m² NRF und Jahr, aufsummiert für Baukonstruktion und Heiztechnik. Tabelle 2-2 zeigt die Werte, die für die Grauen Energien und Emissionen der Neubauvarianten ermittelt werden. Sie verweist auf eine möglichst frühzeitige Variantenuntersuchung und die Notwendigkeit einer normkonformen Berücksichtigung der aktuellen Datensätze der ÖKOBAU-DAT, um verschiedene Studien miteinander vergleichen zu können.

Diese Methode dient der hier vorliegenden Arbeit als Vorbild. Die errechneten Umweltwirkungen und Energieverbräuche können jedoch nicht direkt verwendet werden, da sie auf ein m² NRF bezogen werden und nur eine einzige Gebäudegeometrie berücksichtigen. Die Bauteilaufbauten sind beispielhaft gewählt und die Rahmenbedingungen sowie die Bilanzierungsgrenzen werden unterschiedlich gesetzt. Auch müssten die Werte und Details für die Baukonstruktionen separat ausgewiesen werden, um hier verwendet werden zu können. Ein Vergleich mit der Konstruktionsweise eines Bestandsgebäudes wird lediglich für die Baualtersklasse 8 durchgeführt.

Tabelle 2-2: Wohngebäude Neubauten – GWP, PENRT und PET für Baukonstruktionen und Heiztechnik (Lebensdauer: 50 Jahre); eigene Darstellung nach König (2017, S. 119-123, 127, 128)

Indikator	Minimalwert	Maximalwert
GWP [kg CO ₂ -Äq./(m ² _{NRF} ·a)]	8,4	16,7
PENRT [MJ/(m ² _{NRF} ·a)]	105	214
PET [MJ/(m ² _{NRF} ·a)]	153	250

Werte unter Berücksichtigung der Lebenszyklusphasen A1-A3, B2, B4, C3 und C4

Hafner et al. (2017) analysieren die mögliche Substitution von mineralischen Gebäuden durch Holzgebäude im Rahmen des Klimaschutzes. Untersucht werden Neubauten von repräsentativen Ein-, Zwei- und Mehrfamilienhäusern. Analog zu König (2017) werden die gängigen Bauweisen nach den Bautätigkeitsberichten berücksichtigt und eine LCA für einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren mit Bezug auf die BGF der Gebäude durchgeführt. Bilanziert werden sowohl Beispielgebäude als auch ein repräsentatives Durchschnittshaus, das 37 % der gesamtdeutschen Produktion von Fertighäusern in Holzbauweise abdeckt.

Da die bilanzierten Bauteilaufbauten und ihre Massen bei Hafner et al. (2017) jedoch nicht näher dargestellt sind, ist es nicht möglich, die genannten Kennwerte der Treibhausgasemissionen baualtersbezogen für diese Arbeit zu verwenden.

Die genannten Studien verdeutlichen die Relevanz einer früh in die Planung integrierten Lebenszyklusanalyse verschiedener Ausführungsvarianten mit Hilfe von Benchmarks. Jedoch können die vorhandenen Kennwerte nicht direkt für die weitere Arbeit verwendet werden, da sie entweder keine einheitlichen Datengrundlagen und Systemgrenzen besitzen oder die Datengrundlagen nicht transparent genug dargestellt sind. Hier knüpft die vorliegende Arbeit an. Es wird eine transparente LCA-Methode entwickelt und eine breite

Datengrundlage zu den Umweltwirkungen von Altbau-, Sanierungs- und Neubaukonstruktionen deutscher Wohngebäude geschaffen. Die Benchmarks vorangegangener Studien können zur Diskussion der eigenen Ergebnisse herangezogen werden.

2.7.3 Deutsche Benchmarks für Bestands- und Neubauten

Neben den in Kapitel 2.7.2 genannten Studien weisen auch die Zertifizierungssysteme der DGNB und des BNB nationale Benchmarks zur ökologischen Qualität von Baukonstruktionen aus (vgl. Kapitel 2.1.3 auf Seite 16). Nachfolgend werden die bestehenden Benchmarks analysiert und es wird geklärt, inwiefern sie in der vorliegenden Arbeit verwendet werden können.

Die Zertifizierungsstrukturen der DGNB und des BNB weisen eine große Ähnlichkeit auf und berücksichtigen dieselben Kategorien (ökologische Qualität, ökonomische Qualität, soziokulturelle und funktionale Qualität, technische Qualität, Prozessqualität und Standortmerkmale) (BBSR, 2020; DGNB, 2022). Allerdings bezieht sich das BNB auf öffentliche Nichtwohngebäude, weshalb für diese Arbeit die Benchmarks der DGNB interessanter sind.

Braune et al. (2021) haben mit einer Studie zu 50 Büro- und Wohngebäuden (Neubau) im Rahmen der DGNB Benchmarks für die Treibhausgasemissionen der Gebäudekonstruktion, bezogen auf Nettogrundfläche und Jahr, erarbeitet. Die in der Studie betrachteten zeitlichen Systemgrenzen entsprechen denen dieser Arbeit (vgl. Kapitel 3.2.2 ab Seite 54 und Abbildung 2-2, Seite 12). Tabelle 2-3 zeigt die Spannweite an Treibhausgasemissionen für die betrachteten Massivbauweisen. Da insgesamt nur drei Holz- bzw. Holz-Hybridgebäude untersucht wurden, konnten hierzu keine statistischen Werte ermittelt werden. Der Benchmark der DGNB für das GWP von Baukonstruktionen im Neubau lag bisher bei $9,4 \text{ kg CO}_2\text{-Äq.}/(\text{m}^2_{\text{NRF}}\times\text{a})$ und nähert sich nun mit $8,7 \text{ kg CO}_2\text{-Äq.}/(\text{m}^2_{\text{NRF}}\times\text{a})$ dem Benchmark von König (2017) an (siehe Tabelle 2-2). Das Verhältnis zwischen dem GWP der Konstruktion und dem betrieblichen Energieeinsatz beträgt i. M. 35 % zu 65 %. Leider besteht hier kein freier Zugriff auf die bilanzierten Bauteilkonstruktionen, um sie zur Entwicklung typischer Neubaukonstruktionen heranzuziehen.

Mahler, Idler, Nusser und Gantner (2019) liefern weitere Benchmarks für Wohngebäude im Bestand und Neubau. Die LCA wird nach den Definitionen des DGNB und des BNB erarbeitet. Als Indikatoren werden das GWP und der Kumulierte Energieaufwand nicht erneuerbar gewählt (KEAne). Wie bei Hafner et al. (2017) stützt sich diese LCA auf die ÖKO-BAUDAT, Version 2015. Als Typgebäude werden ein mittelgroßes Mehrfamilienhaus (MFH) und ein Reihenendhaus (EFH) jeweils in Massiv- und Holzbauweise untersucht. Auf Basis verschiedener Niedrigstenergiestandards werden die Variantenstudien durchgeführt. Für typische Neubauten weisen sie für Herstellung, Instandhaltung und Lebensende der Gebäudekonstruktion ein GWP von 10 bis $16 \text{ kg CO}_2\text{-Äq.}/(\text{m}^2_{\text{WFL}}\times\text{a})$ aus. Bei Sanierung sinkt

dieser Wert auf 3 bis 8 kg CO₂-Äq./((m²_{WFL}×a)). Die Studie weist deutlich darauf hin, dass aufgrund der geringen Datenbasis keine allgemeinen Vorgaben abgeleitet werden können.

Da das GWP je m² Wohnfläche und Jahr und nicht je m² Nettoraum- bzw. Nettogrundfläche ausgegeben wird, ist ein direkter Vergleich mit König (2017) und Braune et al. (2021) nicht möglich. Zudem fließt bei den Kennwerten für die Konstruktion nicht nur der Anteil der Baukonstruktion, sondern auch der Anteil der TGA mit ein. Die Werte für den KEAne sind nur bedingt verwendbar, da er nicht direkt mit der PENRT anderer Publikationen verglichen werden kann.

Tabelle 2-3: Benchmark Büro- und Wohngebäude im Neubau: GWP der Baukonstruktionen; eigene Darstellung nach Braune et al. (2021)

Statistischer Wert	GWP [kg CO ₂ -Äq./((m ² _{NRFX} ×a))]		
	Massivbauweise (n= 25 Gebäude)	Skelettbauweise (n= 22 Gebäude)	Holz-/Hybridbauweise (n= 3 Gebäude)
Minimum	5,5	6,1	-
Mittelwert	8,6	9,7	-
Median	8,2	9,4	-
Maximum	14,1	15,5	-
Minimum gesamt		-0,4	
Mittelwert gesamt		8,7	
Median gesamt		8,8	
Maximum gesamt		15,5	

Schlegl et al. (2019) entwickelten ebenfalls Benchmarks mit Hilfe der Auswertung von über 200 DGNB-Zertifizierungen. Der Fokus liegt jedoch erneut auf Büro- und nicht wie in der vorliegenden Arbeit auf Wohngebäuden. Ferner werden nur Neubau- und keine Sanierungskonstruktionen berücksichtigt.

Vorhandene deutsche Benchmarks, die durch DGNB-Zertifizierungen entstanden sind, können nur als Vergleichswerte herangezogen werden. Die Auseinandersetzung mit dem Stand der Forschung hat gezeigt, dass nicht nur Benchmarks für den Neubau, sondern auch für die Sanierung erforderlich sind. Nur so kann in frühen Planungsphasen verglichen und entschieden werden, ob Sanierungen dem Ersatzneubau hinsichtlich der ökologischen Qualität vorgezogen werden sollten. Die in der Literatur ausgewiesenen Bauteilaufbauten werden bei der Entwicklung der ökologischen Kennwerte (siehe Kapitel 3 ab Seite 53) berücksichtigt. Darüber hinaus eignen sich die bisherigen Benchmarks in Tabelle 2-2 (siehe Seite 41) und Tabelle 2-3 für die Diskussion der Szenarienergebnisse in Kapitel 5.6 (ab Seite 177).

2.8 LCA-Studien zum Gebäudebestand

Nachfolgend wird der Stand der Forschung zu LCA-Studien von Gebäudebeständen vorgestellt. Diskutiert werden die Art und der Umfang der Betrachtungen sowie die Datengrundlagen bisheriger Studien.

Röck et al. (2021) liefern eine systematische Analyse zu LCA von größeren Gebäudebeständen im Bestand, in der Sanierung und im Neubau. Die Studie unterstreicht die politische Relevanz, Gebäudebestände auf größerer Maßstabsebene zu untersuchen. Insgesamt werden 22 internationale LCA-Studien mit der Schlussfolgerung analysiert, dass sie entweder eine große Betrachtungsebene aufweisen oder fundierte Detailstudien darstellen. Die gleichzeitige Erfüllung beider Kriterien wäre wünschenswert, ist in den bisherigen Studien jedoch nicht vorhanden. Ferner wird darauf hingewiesen, dass nur wenige Studien Szenarienvergleiche einschließen und Sensitivitätsanalysen durchführen. Als Optimierung wird eine LCA des Gebäudebestands auf Basis von BIM oder GIS ausgewiesen. Denn so erhält man relevante geometrische Eigenschaften des Gebäudeportfolios und der Detaillierungsgrad der LCA wird erhöht.

In Summe verweist Röck et al. (2021) auf fünf Studien, die Daten aus GIS-Modellen heranziehen. Davon konzentrieren sich Mastrucci, Marvuglia, Popovici et al. (2017), Mastrucci et al. (2020) und Österbring et al. (2019) auf die städtische Betrachtungsebene unter Berücksichtigung der Grauen Emissionen von Wohngebäuden. Die Sanierungsmaßnahmen und der Materialeinsatz stehen dabei im Fokus.

Anders als beispielsweise Stephan und Athanassiadis (2017) verwenden sie die durch die GIS-Modelle vorgegebenen Gebäudegeometrien zur Berechnung, statt definierte Typgebäude (Röck et al., 2021, Appendix B).

Mastrucci, Marvuglia, Leopold und Benetto (2017) begrenzen ihre Betrachtung jedoch auf die Entsorgungsphasen, wohingegen Mastrucci et al. (2020) und Österbring et al. (2019) diese wiederum ausklammern. Österbring et al. (2019) berücksichtigen bei ihrer Betrachtung dreizehn verschiedene Umweltindikatoren, jedoch fehlt die Ermittlung der Primärenergiebedarfe. Auch Mastrucci et al. (2020) bilanzieren keine Primärenergiebedarfe und weisen lediglich das GWP aus.

Die Studie von Röck et al. (2021) illustriert die Vorteile einer LCA auf Basis von BIM oder GIS, um eine Skalierung der Umweltwirkungen von der Bauteilebene auf größere Betrachtungsebenen zu ermöglichen. Jedoch gibt es keine Studie, die gleichzeitig die Herstellungs-, Nutzungs- und Entsorgungsphase von Baumaterialien auf größerer Maßstabsebene berücksichtigt. Röck et al. (2020) zeigen, dass es einer transparenten und detaillierten Datengrundlage bedarf, um mit Daten aus GIS-Modellen eine LCA von der Bauteilebene bis hin zur Stadtebene oder nationalen Ebene durchzuführen. Nur so können verschiedene Sanierungsszenarien und ihre ökologischen Auswirkungen ausreichend bewertet werden (vgl. auch Kapitel 5 ab Seite 137) (Mastrucci et al., 2020).

Die in der Literatur genannten Optimierungspotentiale greift die vorliegende Arbeit auf.

2.9 Tools zur Bewertung des Gebäudebestandes mit Hilfe räumlicher Gebäudemodelle

Kapitel 2.8 und die in Tabelle 2-4 genannten internationalen Literaturquellen zeigen, dass Lebenszyklusanalysen auf Quartiersebene wichtig sind, um politische Entscheidungen hin zu einem klimaneutralen Gebäudebestand zu unterstützen oder die ökologische Qualität von Baumaßnahmen in frühen Planungsphasen zu verbessern. Die in Tabelle 2-4 aufgelisteten Publikationen, die zwischen 2015 und 2021 veröffentlicht wurden, zeigen die internationale Verbreitung von Lebenszyklusanalysen auf Quartiersebene und deren Untersuchungsrahmen.

Tabelle 2-4: Verbreitung internationaler Publikationen zur LCA auf Quartiersebene zwischen 2015 und 2021 und deren Untersuchungsrahmen; eigene Darstellung

Publikation	Titel	Land/Region	Untersuchungsrahmen	Indikatoren
Lotteau et al. (2015)	Critical review of life cycle assessment (LCA) for the built environment at the neighborhood scale	Australien, USA, Kanada, Schweiz, Frankreich, Deutschland, China, Belgien, Schweden	Review zu bisherigen Studien über LCA im Gebäudesektor auf Quartierslevel; Analyse von insgesamt 21 Fallstudien aus verschiedenen Ländern; Wohn- und Mischgebiete	PET, GWP
Lausset et al. (2019)	LCA modelling for Zero Emission Neighbourhoods in early stage planning	Norwegen	LCA-Studie zu einem Quartier unter Berücksichtigung von Gebäuden, Mobilität, Freiraum, Arbeitsplätzen und Energieinfrastruktur	GWP
Slavkovic et al. (2019)	Life-Cycle Assessment as a decision-support tool for early phases of urban planning: evaluating applicability through a comparative approach	Schweiz	Fallstudie zu Wohn- und Bürogebäuden; LCA zu Neubaumaßnahmen; Vergleich der Performance von drei Software-Tools auf Quartierslevel	GWP, KEA
Sözer und Sözen (2019)	Energy saving, global warming and waste recovery potential of retrofitting process for a district	Türkei	Fallstudie mit 82 Wohn- und Touristik-Gebäuden; LCA zu Sanierungsmaßnahmen; Geometrische Informationen aus 3D-BIM-Modell	GWP, KEA, UBP (Umweltbelastungspunkte)
Feng et al. (2020)	BIM-based life cycle environmental performance assessment of single-family houses: renovation and reconstruction strategies for aging building stock in British Columbia	Kanada	Fallstudie zu einem Einfamilienhaus; Vergleich von sechs Szenarien (Renovierung und Ersatzneubau); geometrische Informationen aus BIM-Modell	GWP
Lausset et al. (2021)	Temporal analysis of the material flows and embodied greenhouse gas emissions of a neighborhood building stock	Norwegen	Studie zu verschiedenen Einfamilienhäusern, einer Schule und eines Kindergartens (Neubau und zweimalige Renovierung); Verwendung von Archetypen	Graue Treibhausgasemissionen, Materialflüsse

Tabelle 2-4 zeigt, dass in den letzten Jahren die Grauen Energien und Grauen Emissionen für Neubau- und Sanierungsmaßnahmen in den Fokus der Betrachtung gerückt sind. Wichtige geometrische oder baualtersbezogene Gebäudeinformationen liefern hier BIM-Modelle oder definierte Typgebäude (Archetypen).

Aber auch Daten aus GIS-Modellen werden bereits benutzt, um energetische oder ökologische Analysen auf größerer Maßstabsebene durchzuführen (siehe Tabelle 2-5). Die geometrischen Eigenschaften der Gebäude stammen immer aus dem Modell. Die Publikationen werden analysiert, weil sie ähnliche methodische Ansätze wie die vorliegende Dissertation enthalten. Es stellt sich heraus, dass die Studien noch nicht alle Anforderungen an eine fundierte Datengrundlage erfüllen.

So verweisen sowohl Mastrucci, Marvuglia und Popovici et al. (2017) als auch Weiler et al. (2017) auf die Datenbasis von Loga et al. (2015) zur Identifizierung typischer baukonstruktiver Eigenschaften von Wohngebäuden. Wie in Kapitel 2.2.2 (Seite 19) verdeutlicht wird, sind die Bauteilaufbauten jedoch nicht ausreichend repräsentativ und spezifisch beschrieben.

Tabelle 2-5: Publikationen zur GIS-basierten LCA auf Stadt- und/oder Quartiersebene; eigene Darstellung

Publikation	Titel	Land/Region	Untersuchungsrahmen
Mastrucci et al. (2015)	GIS-based Life Cycle Assessment of urban building stocks retrofitting- a bottom-up framework applied to Luxembourg	Luxemburg	Entwicklung eines georeferenzierten Datenmodells zur LCA des Gebäudebestandes auf Stadtebene; Fallstudie zu Wohngebäuden mit Ergebnissen zur Sanierung; Ermittlung baualterstypischer Gebäudekonstruktionen aus der Literatur
Mastrucci, Marvuglia und Popovici et al. (2017)	Geospatial characterization of building material stocks for the life cycle assessment of end-of-life scenarios at the urban scale	Luxemburg	Entwicklung einer Struktur zur Charakterisierung des Baumaterialbestandes und LCA auf städtischem Maßstab basierend auf GIS; Fallstudie zu Wohngebäuden; Baualter wird berücksichtigt; Studie verweist auf Loga et al. (2015)
Weiler et al. (2017) und Harter et al. (2017)	Life cycle assessment of buildings and city quarters comparing demolition and reconstruction with refurbishment Developing a roadmap for the modernisation of city quarters – Comparing the primary energy demand and greenhouse gas emissions	Deutschland	Ermittlung baualterstypischer Baukonstruktionen und Umweltwirkungen auf Basis von Loga et al. (2015) (siehe Kapitel 2.2.2, Seite 19); Berücksichtigung von Neubau- und Ersatzneubaumaßnahmen von Wohngebäuden; Durchführung einer LCA mit Hilfe der Software SimStadt (vgl. Kapitel 2.9.2, ab Seite 47); Betrachtung vier verschiedener Szenarien auf Quartiersebene und Entwicklung eines Fahrplans zur Sanierung von Stadtquartieren

In Ergänzung zu den genannten Publikationen wird in den nachfolgenden Kapiteln auf vorhandene wissenschaftliche und kommerzielle Tools eingegangen, die Schnittstellen zu bisherigen Publikationen und zur vorliegenden Dissertation aufweisen. Die Tools werden dabei gegliedert nach den Bewertungskriterien (siehe Überschriften) beschrieben. Es wird jeweils analysiert, welche aus den Tools gewonnenen Erkenntnisse in diese Arbeit einfließen können und welchen Mehrwert diese Arbeit für die weitere Entwicklung der Tools hat.

2.9.1 Tools zur Bewertung des Nutzenergiebedarfs auf Quartiersebene

Tools, wie die Berechnungs- und Analyseplattform City Building Energy Saver (CityBES), das Tool des Projektes Data-driven Urban Energy Simulation oder TEASER der RWTH Aachen erlauben die Modellierung des Energiebedarfs in der Nutzungsphase des Gebäudebestands oder von Neubauten anhand weniger Eingangsparameter. Allerdings besitzen sie keine Möglichkeit, ökologische Kennwerte von Baukonstruktionen zu implementieren und für LCA-Berechnungen zu verwenden (Chen et al., 2017; Nutkiewicz et al., 2018; RWTH Aachen, Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate, o. J.).

Kaden (2014) fokussiert sich ebenfalls auf die Modellierung des Energiebedarfs in der Nutzungsphase des Gebäudebestands. Sein Tool beinhaltet den „SharedWallSurface-Calculator“, mit dessen Hilfe Trennwandflächen in GIS-Modellen automatisiert berechnet werden können. Diese Trennwandflächen werden mit den in dieser Arbeit entwickelten ökologischen Kennwerten verknüpft, um die Umweltwirkungen in den verschiedenen Falluntersuchungen zu berechnen (siehe Kapitel 4.6 ab Seite 124 sowie Anhang A.10 ab Seite 488).

2.9.2 Tools zur LCA auf Quartiersebene

Mit City Energy Analyst (CEA) können Energiebedarfe und Umweltwirkungen von Stadtquartieren auf Basis von 3D-Stadtmodellen im CityGML-Format berechnet werden (ETH Zürich - The A/S group, 2021; Fonseca et al., 2016). Auch kann eine LCA der Baukonstruktion nach Baualter und Renovierungsstand mit dem Benchmark der 2000 Watt-Gesellschaft durchgeführt werden (EnergieSchweiz für Gemeinden und Bundesamt für Energie, 2020). Die LCA-Datenbank umfasst jedoch lediglich typische Gebäudekonstruktionen für Fallstudien in der Schweiz und Singapur (ETH Zürich - The A/S group, o. J., S. 7-14). Es fehlen ökologische Kennwerte zu deutschen Baukonstruktionen. Die in dieser Arbeit entwickelten ökologischen Kennwerte können hier einfließen.

Umi 2.0 (Urban Modeling Interface) ist eine Software zur Berechnung von Tageslichtpotentialen, der Qualität von Fußläufigkeiten oder der ökologischen Qualität von Quartieren und Städten. Der Fokus liegt auf dem betrieblichen Energieeinsatz und der Grauen Energie. Ab Version 2.0 wurde ein LCA-Modul eingeführt, mit dessen Hilfe auch die CO₂-Emissionen und der Energieaufwand von Baustoffen berechnet werden können. Derzeit berücksichtigt

das Programm nur den Energieaufwand durch fossile Energieträger (PENRT). Soll der gesamte Primärenergieaufwand betrachtet werden, sind eingangs eigene Werte und Baustoffe zu definieren, sodass das Programm eine vereinfachte jährliche LCA durchführen kann. Einbezogen werden dabei Umweltwirkungen für die Herstellung (Phasen A1-A3), den Transport (Phase A4), die Errichtung (Phase A5), den Austausch (Phase B4), den betrieblichen Energieeinsatz (Phase B6) sowie den Rückbau und den Abtransport der Baumaterialien (Phasen C1 und C2), insofern sie in der Datenbank hinterlegt sind. Zur Berechnung bedient sich das Programm der vorhandenen Gebäudehüllflächen und schätzt Anteile für Innenwände oder Decken. (MIT Sustainable Design Lab, 2017)

2020 wurde ein UMI GIS Importer veröffentlicht, mit dem 3D-Stadtmodelle im CityGML-Format 2.0 (LoD1 und LoD2) integriert und verwendet werden können (Berzola, 2020). Dem Programm fehlt bisher allerdings eine Datenbank mit validen ökologischen Kennwerten für Baukonstruktionen. Die Entwickler weisen darauf hin, dass die bestehende Onlinedatenbank lediglich als Infrastruktur dient, die dezentral verwendet, bearbeitet und weiterentwickelt werden kann (Cerezo Davila und Reinhart, 26.-28.08.13).

Im Rahmen des gleichnamigen Forschungsprojektes wurde die Simulationssoftware „SimStadt“ entwickelt. Mit Hilfe der Software können energetische Analysen – z. B. Ermittlung des Heizwärmebedarfs, der PV-Potentiale oder ganzer Gebäudesanierungs- und Energieversorgungszenarien – von Gebäuden hin zu Regionen durchgeführt werden. (Hochschule für Technik Stuttgart, 2022)

Wie Weiler et al. (2017) zeigen, ist es mit der Software möglich, LCA der Baukonstruktion für verschiedene Sanierungs- und Ersatzneubauszenarien unter Verwendung einer Konstruktionsdatenbank nach Loga et al. (2015) durchzuführen. Nach mündlicher Nachfrage wird seitens der Projektbeteiligten bestätigt, dass die ökologischen Kennwerte nur beispielhaft generiert wurden und es noch keine Weiterentwicklung zu einer fundierten Datenbank gibt.

An dieser Stelle knüpft die Dissertation an. Denn es werden transparent beschriebene und spezifische ökologische Kennwerte für repräsentative deutsche Altbau-, Sanierungs- und Neubaukonstruktionen auf Basis der ÖKOBAUDAT, Version 2020-II entwickelt. Diese Kennwerte können von UMI 2.0 oder SimStadt für LCA-Berechnungen verwendet werden.

2.9.3 LCA-Tool zur Bewertung der TGA, Energiebedarfe und Heizlast auf Quartiersebene

Das Tool urbi+ stellt die programmierseitige Umsetzung einer Methode zur lebenszyklusbasierten energetischen, emissions- und kostenbezogenen Analyse großer Wohngebäudebestände und ausgewählter TGA-Komponenten dar (Harter, 2021). Es ist möglich, den Nutz-, End- und Primärenergiebedarf im Betrieb zu ermitteln. Auch die Heizlast der Gebäude kann berechnet werden. Als Datengrundlage werden semantische 3D-Stadtmodelle im CityGML-Format 2.0 herangezogen (Harter, Willenborg et al., 2020). Es besteht eine

enge Schnittstelle zu dieser Arbeit. Denn urbi+ fehlt bisher die Möglichkeit zur LCA von Altbau-, Sanierungs- und Neubaukonstruktionen. Im Rahmen des Forschungsprojektes „Grüne Stadt der Zukunft“ ist es gelungen, einen Teilbereich der in Kapitel 4.5 und 4.6 (ab Seite 122) beschriebenen Berechnungsschritte in urbi+ zu integrieren und so automatisiert ganzheitliche Bilanzierungen von großen Wohngebäudebeständen durchzuführen. Das Fallbeispiel, das auch im Forschungsprojekt verwendet wurde, wird in Kapitel 5 ab Seite 137 vorgestellt.

2.9.4 Tool zur Bewertung von Nachverdichtungsmaßnahmen

Das Tool Urban Strategy Playground (USP) fokussiert sich auf die Planung, Analyse und Visualisierung von Nachverdichtungsmöglichkeiten via 3D-Stadtmodellen (Seifert und Mühlhaus, o. J.). Für wachsende Städte wie München ist dieses Tool besonders hilfreich. Im Zuge der ökologischen Bewertung von Quartieren müssen Nachverdichtungsmaßnahmen zukünftig besser berücksichtigt werden, um die Einsparpotentiale von Flächen- und Ressourcenverbräuchen optimaler identifizieren zu können.

USP verfügt über verschiedene Werkzeuge (Plug-Ins) und Methoden. Im Kontext der vorliegenden Arbeit ist die Modellierung flächiger Aufstockungen von Gebäuden interessant. Ein Plug-In zum Import einer LCA-Datenbank, mit deren Hilfe eine ökologische Bewertung der Nachverdichtungsszenarien möglich wäre, gibt es allerdings noch nicht. (Seifert, o. J.)

Die vorliegende Arbeit kann hier die Datengrundlage und die Beschreibung der notwendigen Berechnungsschritte für eine Implementierung liefern.

2.9.5 Weitere räumliche Planungstools

„Spacemaker“ ist ein Produkt von Autodesk, das mit Hilfe von räumlichen Stadtmodellen und künstlicher Intelligenz (KI) geometrische Gebäudeanalysen (z. B. Veränderung der Bruttogeschossflächen oder Fassadenflächen), Tageslicht-, Lärm- oder Windanalysen auf Quartierebene in Echtzeit ermöglicht. Auch die Überprüfung der Sonneneinstrahlung, des Mikroklimas oder der Außenraumqualität ist mit dem Tool möglich. (Spacemaker, 2020)

Auch mit „Modelur“ können 3D-Stadtmodelle in Echtzeit modelliert und in frühen Planungsphasen verschiedene Szenarien verglichen werden (AgiliCity d.o.o, o. J.).

Eine LCA der Baukonstruktion oder anderer Gebäudekomponenten kann mit den Tools „Spacemaker“ und „Modelur“ bisher noch nicht durchgeführt werden. Eine Erweiterung der Tools um die LCA der Baukonstruktion ist jedoch möglich, indem die vorhandenen Gebäudegeometrien mit den hier entwickelten ökologischen Kennwerten für Baukonstruktionen verknüpft werden. Die notwendigen Berechnungslogiken werden in Kapitel 4 ab Seite 107 dargestellt.

„Metabuild“ ist ebenfalls ein KI-basiertes, räumliches Planungstool, das die Analyse von komplexen Neubau- und Sanierungsprojekten ermöglicht. Neben Kosten-, Tageslicht-, Luftqualität- und Energieverbrauchsanalysen ist auch eine Untersuchung der Grauen Energie und der CO₂-Emissionen möglich. (Metabuild GmbH, 2022)

Das städtische Planungstool „Giraffe“ gleicht in seiner Ausrichtung und Funktion „Metabuild“ und umfasst ebenfalls eine Möglichkeit zur Analyse der CO₂-Emissionen von Stadtquartieren (Giraffe Technology Pty Ltd, o. J.).

Ob bei „Metabuild“ und „Giraffe“ auch die baualterstypischen CO₂-Emissionen und Grauen Energien von Gebäudeabrissen berücksichtigt werden können, ist zu überprüfen. Für frühe Planungsphasen, in denen die bestehenden Gebäudekonstruktionen noch nicht vollständig bekannt sind, kann die vorliegende Arbeit diesen Tools notwendige ökologische Kennwerte zu Altbaukonstruktionen und deren Sanierungsmöglichkeiten oder Ersatzneubaumaßnahmen liefern.

2.10 Zusammenfassung Kapitel 2

- Zur Bewertung potentieller Umweltwirkungen von Gebäuden auf Basis von Standardisierungen und Normen hat sich national und international die LCA etabliert.
- International existieren viele Fallstudien zur ökologischen Qualität von Baukonstruktionen im Alt- und Neubau. Sie belegen die Notwendigkeit von einheitlichen Benchmarks und der Durchführung von ökologischen Lebenszyklusanalysen in frühen Planungsphasen, um politische und kommunale Entscheidungen für mehr Klimaschutz zu unterstützen.
- Jedoch fehlt bisher eine breite Datenbasis, die durch einheitliche Systemgrenzen und Grundlagen eine Gegenüberstellung der ökologischen Qualität von Altbau-, Sanierungs- und Neubaukonstruktionen unter gleichzeitiger Betrachtung der Herstellungs-, Nutzungs- und Entsorgungsphasen zulässt.
- Es existieren geeignete Literaturquellen, um für die lebenszyklusbasierten Umweltwirkungen von Baukonstruktionen von Wohngebäuden eine repräsentative und baualtersbezogene Datenbasis zu erarbeiten, diese muss jedoch um aktuelle Entwicklungen in der Baupraxis ergänzt werden.
- Als maßgebende Indikatoren für die Quantifizierung des Einflusses auf den Klimawandel und den Ressourcenverbrauch werden das GWP, die PENRT und PET identifiziert.
- Trotz der Berücksichtigung normativer Grundlagen, sind bei einer LCA gewisse Unsicherheiten hinsichtlich der In- und Outputparameter vorhanden. Es ist sinnvoll, deren Einfluss mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse zu beurteilen.
- Die Literaturrecherche zeigt, dass es einer transparenten und detaillierten Datengrundlage bedarf, die eine LCA von der Bauteilschichtenebene bis hin zur Stadtebene oder nationalen Ebene ermöglicht. Hierzu sind räumliche Betrachtungen unter Verwendung von Daten aus GIS-Modellen zielführend.
- Für eine LCA großer Wohngebäudebestände liefern semantische 3D-Stadtmodelle im CityGML-Format (Version 2.0) wichtige geometrische Gebäudeinformationen und reduzieren so mögliche Unsicherheiten bei den Inputparametern und im Endergebnis.
- Bisherige Studien belegen, dass mit Hilfe von ökologischen Kennwerten die ökologische Qualität von Bestands-, Neubau- und Sanierungsprojekten auf städtischer Ebene bewertet werden kann und Handlungsempfehlungen erarbeitet werden können.
- Bisherige Softwaretools, die mit Hilfe von räumlichen Gebäude- oder Stadtmodellen, energetische oder ökologische Analysen von großen Wohngebäudebeständen ermöglichen, verfügen noch nicht über die Möglichkeit zur vergleichenden LCA verschiedener Alt-, Sanierungs- oder Neubauszenarien mit Fokus auf die Baukonstruktion. Entweder wurde die Methode noch nicht implementiert oder es fehlt eine fundierte und transparente Datenbasis. Diese wird von der vorliegenden Dissertation geliefert. Zudem verfügt sie über transparente Berechnungslogiken, die in vorhandene Tools (z. B. UMI 2.0, SimStadt, urbi+) implementiert werden können.

3 Entwicklung ökologischer Kennwerte

3.1 Methodik

Abbildung 3-1 zeigt die Arbeitsschritte, die zur Entwicklung ökologischer Kennwerte von Alt-, Neubau- und Sanierungskonstruktionen nach normativen Vorgaben erforderlich sind. In diesem Kapitel wird detailliert auf jeden genannten Arbeitsschritt eingegangen, sodass die Methode und die erarbeiteten Ergebnisse transparent nachvollzogen werden können.

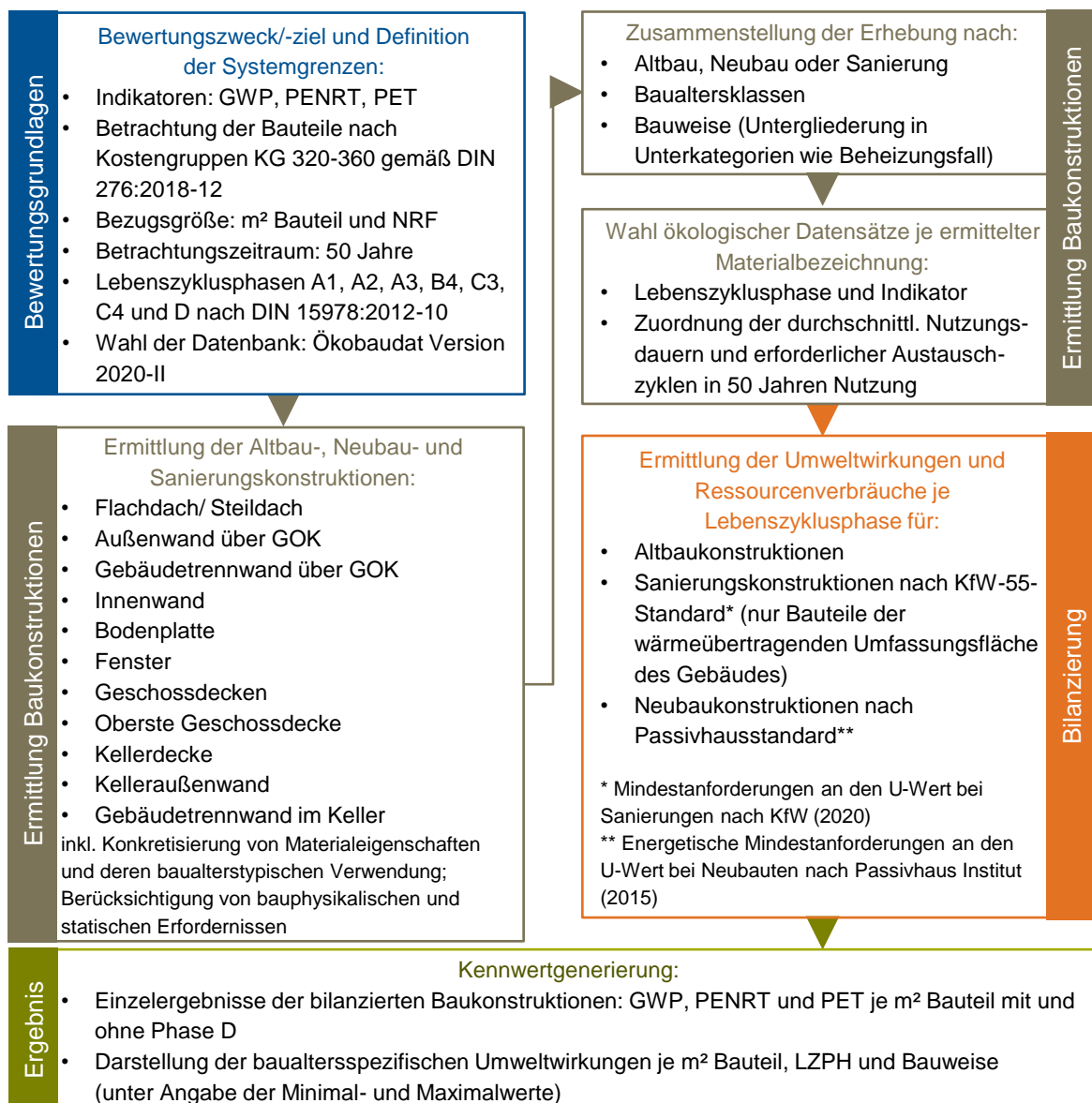


Abbildung 3-1: Methodische Vorgehensweise bei der Entwicklung ökologischer Kennwerte von Alt- und Neubaukonstruktionen; eigene Darstellung

3.2 Bewertungsgrundlagen

3.2.1 Bewertungsziel

Gemäß den normativen Vorgaben wird der Bewertungszweck bzw. das Untersuchungsziel definiert. Ziel der baualtersklassenspezifischen Ökobilanzierung ist die Ermittlung der ökologischen Qualität einzelner Sanierungs-, Nachverdichtungs- und Ersatzneubaustrategien von Bestandsquartieren über ihren Lebenszyklus (50 Jahre) hinweg. Die Untersuchung fokussiert sich auf deutsche Wohngebäude. Als Indikatoren zur Bewertung des Emissionsausstoßes sowie der Energie- und Ressourcenverbräuche werden das GWP, die PENRT und PET gewählt und einzeln ausgewiesen, sodass spätere Nutzer:innen je nach eigenen Präferenzen die Umweltwirkungen einzeln oder gemeinsam betrachten können.

Die Ergebnisspannweiten werden auf Bauteilebene je Baualter und Baumaßnahme dargestellt. Die Einzelergebnisse auf Bauteilebene sind Grundlage für die LCA unter Verwendung von 3D-Stadtmodellen in Kapitel 4 (ab Seite 107). In Kapitel 5 (ab Seite 137) werden die bauteilspezifischen Umweltwirkungen von Alt- und Neubaukonstruktionen mit Hilfe einer Fallstudie ausgehend von der Gebäudeebene bis zur Quartiersebene berechnet. Finales Ziel der Methode ist es, die maßgebenden Treiber der gewählten Umweltwirkungen und die ökologischen Optimierungspotentiale auf Quartiersebene (großflächig) zu erfassen und darzustellen. Die ökologisch gesehen günstigste Baumaßnahme wird identifiziert, um Handlungsempfehlungen für Planende und Entscheidungsträger:innen ableiten zu können.

3.2.2 Systemgrenzen

Eine Ökobilanzierung kann nur im Kontext ihrer Systemgrenzen durchgeführt und bewertet werden. Dabei wird zwischen räumlichen und zeitlichen Systemgrenzen unterschieden, die nachfolgend vorgestellt werden.

3.2.2.1 Räumliche Systemgrenzen

Die DIN 276:2018-12 definiert die Kostengruppen im Bauwesen. Die folgende Ökobilanzierung umfasst die Regelaufbauten der Kostengruppen KG 320 (Gründung, Unterbau), KG 330 (Außenwände/ vertikale Baukonstruktionen, außen), KG 340 (Innenwände/ vertikale Baukonstruktionen, innen), KG 350 (Decken/ horizontale Baukonstruktionen) und KG 360 (Dächer) von Wohngebäuden. Die Bezugseinheit stellt die Bauteilfläche in m² dar. Jedoch werden nicht alle Kostengruppen der dritten Ebene berücksichtigt. So fließen in die Betrachtung keine Oberflächenabschlüsse, wie Wand- und Deckenanstriche oder Fußbodenbeläge, ein. Diese können projektspezifisch stark variieren und deren Eigenschaften können auf Quartiersebene nicht allgemeingültig definiert werden. Haustüren besitzen einen sehr geringen Flächenanteil und werden deshalb zugunsten der Fensterflächen

übermessen. Nach Auswertung der Angaben von Gruhler et al. (2002, S. 307) nehmen die Innentüren bei den Innenwänden einen Flächenanteil von 11 bis 28 % ein. Dies stellt zwar einen nicht unerheblichen Anteil dar, allerdings können die Innentüren aufgrund fehlender ÖKOBAUDAT-Datensätze nicht bilanziert werden. Auch Näherungen mit Hilfe von alternativen Datensätzen sind nicht möglich oder wären zu ungenau. Aus diesem Grund werden die Innentüren zugunsten der Innenwandflächen übermessen. Tabelle 3-1 fasst die Beschreibung und die Bezeichnungen der berücksichtigten Bauteile zusammen. Für die einzelnen Bauteile werden eindeutige Abkürzungen in englischer Sprache vergeben. Diese werden bei der LCA-Berechnung (vgl. Kapitel 4 ab Seite 107) verwendet.

Tabelle 3-1: Beschreibung und Bezeichnungen der berücksichtigten Bauteile je Kostengruppe nach DIN 276:2018-12; eigene Darstellung

Kosten- gruppe	Beschreibung der berücksichtigten Bauteilkomponenten	Bauteilbezeichnung (engl. Abk.)
KG 320	Berücksichtigt werden die Bauteilflächen von Einzel- und Streifenfundamenten sowie von tragenden und nichttragenden Bodenplatten (KG 322). Auch die Abdichtungen (KG 325) sowie die Gründungsbeläge (KG 324) fließen mit in die Bilanzierung ein. Ausgenommen sind jedoch Fußbodenbeläge wie Parkett, Fliesen, Teppiche o. ä.. Werden bei den Altbaukonstruktionen Kiesschichten ausgewiesen, werden sie bilanziert (KG 321 bzw. 326). Je nachdem, ob ein Kellergeschoss vorhanden ist und ob dieses beheizt ist oder nicht, wird zwischen beheizter und unbeheizter Bodenplatte unterschieden.	Fundament (F) Bodenplatte beheizt/unbeheizt (BP_h / BP_uh)
KG 330	In die Bilanzierung fließen tragende und nichttragende Außenwandkonstruktionen mit ein (KG 331, 332). Die Kostengruppen der Bekleidungen (KG 335 und 336) werden bilanziert, jedoch ohne Farb- oder Lackanstriche. Außenstützen (KG 333) werden als tragende Konstruktion wie KG 331 behandelt. Elementierte Außenwände (KG 337) spielen im Wohnungsbau eine untergeordnete Rolle, weshalb sie vernachlässigt werden. Auch KG 338 und 339 werden nicht bilanziert. Final wird bei den Außenwänden zwischen Außenwänden über GOK und unter GOK (Kelleraußenwände) unterschieden. Zudem erfolgt eine weitere Differenzierung der Bauweisen: <ul style="list-style-type: none"> • Wände in Holzbauweise • Wände in monolithischer Massivbauweise • Zweischalige Wände in Massivbauweise • Wände mit Vorhangfassade bzw. belüfteter Fassade Aufgrund der Zeilen- und Blockbebauung in städtischen Gebieten wird zudem zwischen freistehenden Außenwänden und Gebäudetrennwänden differenziert. Je nach beheiztem Gebäudevolumen wird im Kellergeschoss in beheizt oder unbeheizt untergliedert.	Außenwand über GOK beheizt (EW), Gebäudetrennwand über GOK beheizt (SW), Kelleraußenwand beheizt/unbeheizt (CW_h / CW_uh), Gebäudetrennwand im Keller beheizt/unbeheizt (SCW_h / SCW_uh)
KG 334	Die Fenster werden als Außenwandöffnung (KG 334) separat erfasst. Bilanziert werden alle Fensterkomponenten wie Glas, Rahmen, Beschläge, Griffe und Abdichtungsmaterialien. Dabei wird zwischen drei Haupttypen unterschieden: <ul style="list-style-type: none"> • Holzfenster • Aluminiumfenster • Kunststofffenster 	Fenster (W)

3.2 Bewertungsgrundlagen

KG 340	<p>Analog zur KG 330 erfolgt die Berücksichtigung tragender und nichttragender Innenwandkonstruktionen (KG 341, 342, 343) in</p> <ul style="list-style-type: none"> • Holzbauweise und • Massivbauweise. <p>Innenwandöffnungen (KG 344) werden nicht berücksichtigt bzw. deren Fläche übermessen. Abschließende Schichten der Bekleidung (Anstriche) sowie die KG 346 bis 349 werden nicht mit in die Bilanzierung einbezogen.</p>	Innenwand (IW)
KG 350	<p>Aus energetischen Gründen werden drei verschiedene Deckenarten,</p> <ul style="list-style-type: none"> • die oberste Geschossdecke, • die Kellerdecke und • die Geschossdecke <p>sowie zwei verschiedene Bauweisen,</p> <ul style="list-style-type: none"> • die Holzbauweise und • die Massivbauweise <p>definiert. Diese Unterscheidung ist erforderlich, da je nach Bauweise und Beheizung des Gebäudes verschiedene Schichtaufbauten und -dicken entstehen. Bilanziert werden KG 351, 353 und 354, wobei die abschließenden Schichten der Deckenbeläge (z. B. Parkett, Fliesen) und Deckenbekleidungen (Anstrich) nicht einfließen. Deckenöffnungen (KG 352) werden übermessen. Die KG 355 sowie 359 werden nicht berücksichtigt.</p>	<p>Oberste Geschossdecke beheizt/unbeheizt (TFL_h / TFL_uh),</p> <p>Kellerdecke beheizt/unbeheizt (CFL_h / CFL_uh),</p> <p>Geschossdecke (FL)</p>
KG 360	<p>Die Bilanzierung schließt die KG 361 ein, aber ohne Berücksichtigung der Dachüberstände und Vordächer. Hier gilt wie bei allen Bauteilen der Regelaufbau.</p> <p>Beim Flachdach erfolgt eine Untergliederung nach</p> <ul style="list-style-type: none"> • Holzbauweise und • Massivbauweise. <p>Dachöffnungen (KG 362) werden übermessen. KG 365, 366 und 369 sind ebenfalls nicht Bestandteil der Bilanzierung.</p>	<p>Flachdach beheizt (FRO),</p> <p>Steildach beheizt/unbeheizt (PRO_h / PRO_uh)</p>

3.2.2.2 Zeitliche Systemgrenzen

Bei der Bilanzierung nachfolgender Baukonstruktionen wird gemäß verschiedener Zertifizierungssysteme eine Gebäudenutzungsdauer (Lebensdauer) von 50 Jahren zugrunde gelegt (BBSR, 2020; DGNB, 2021). Für jede Baukonstruktion im Alt- und Neubau oder im Sanierungsfall werden das GWP, die PENRT und PET der Herstellungsphasen (LZPH A1, A2 und A3), der Nutzungsphase (LZPH B4) und der Entsorgungsphasen (LZPH C3 und C4) gemäß DIN EN 15978:2012-10, Bild 6 (vgl. Kapitel 2.1.1 und Abbildung 2-2, Seiten 11 bis 14) berücksichtigt. Auch das DGNB-Zertifizierungssystem, das in Deutschland sehr verbreitet ist, wählt diese Lebenszyklusphasen (DGNB, 2018, S. 59).

Abbildung 3-2 verdeutlicht, dass der Betrachtungszeitraum in der Gegenwart beginnt und Umweltwirkungen, die in der Vergangenheit verursacht oder emittiert wurden, nicht ermittelt werden, da sie nicht mehr beeinflussbar sind. Das bezieht sich auch auf die bisherige Nutzung etwaiger Bestandskonstruktionen, die während des Betrachtungszeitraums weiterverwendet werden. Nur die Entsorgung der Bestandskonstruktionen ab der Gegenwart ist relevant. Zusätzlich können generierte Vorteile oder Belastungen, die durch die Entsorgung der Bauteile während des Betrachtungszeitraums entstehen, separat in der Phase D

ausgewiesen werden. Im Fokus der Betrachtung über die zukünftigen 50 Jahre stehen demnach lediglich die in dieser Zeit anfallenden Emissionen und Energien.

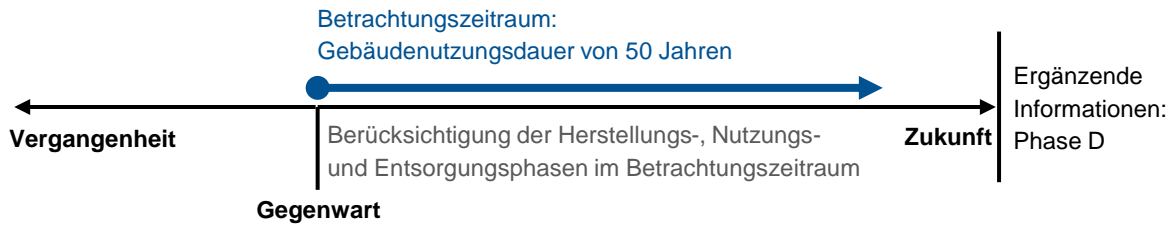


Abbildung 3-2: der Betrachtungszeitraum einer LCA; eigene Darstellung

Die Herstellungsphasen (LZPH A1-A3) und Entsorgungsphasen (LZPH C3 und C4) werden immer ermittelt. Sie fließen in Abhängigkeit der Szenarien (vgl. Kapitel 4.4 ab Seite 117) in die Bilanzierung mit ein. Der Betrachtungszeitraum von 50 Jahren ist länger als die Nutzungsdauer einzelner Bauteilkomponenten. Das BNB-Zertifizierungssystem gibt durchschnittliche Nutzungsdauern einzelner Bauteile bzw. Bauteilkomponenten für Büro- und Verwaltungsgebäude vor, die auf Erfahrungswerten beruhen (BBSR, 2017). Eine ähnliche Auflistung für Wohngebäude existiert nicht in der Literatur. Da sich die Bauweise und Nutzung von Wohn- und Bürogebäuden ähneln und die Angaben des BNB-Zertifizierungssystems detailliert beschrieben sowie frei zugänglich sind, werden sie hier verwendet. Je nach Material und seiner Verortung im Bauteil werden spezifische durchschnittliche Nutzungsdauern hinterlegt (vgl. Anhang A.5 ab Seite 376). Mit Hilfe dieser Vorgaben können die Austauschzyklen und Umweltwirkungen der LZPH B4 innerhalb des Betrachtungszeitraums für jedes vorhandene Material berechnet werden. Die Berechnung der Umweltwirkungen einzelner Bauteilschichten in LZPH B4 erfolgt durch die Multiplikation der ermittelten Austauschzyklen mit der Summe der Werte aus den Herstellungs- und Entsorgungsphasen (siehe Gleichung 3-1). Hat eine Bauteilschicht eine durchschnittliche Nutzungsdauer von 15 Jahren, so wird sie innerhalb einer Lebensdauer von 50 Jahren insgesamt dreimal ausgetauscht (nach ca. 15, 30 und 45 Jahren). Bei einer durchschnittlichen Nutzungsdauer von 25 Jahren wird sie nur einmal ausgetauscht, da der zweite Austausch mit dem Ende der Lebensdauer einhergeht. In der Praxis wird ein Bauteil sicherlich großflächig ersetzt, auch wenn Einzelkomponenten noch längere mögliche Nutzungsdauern besitzen. Deshalb sind die Jahresangaben lediglich als Anhaltswerte zu sehen. Beim Austausch und Ersatz wird davon ausgegangen, dass exakt das gleiche Material in der gleichen Materialstärke ausgebaut und neu eingebaut wird:

$$B4_{\text{Bauteilschicht}} = n \times (C3_{\text{Ausbauschicht}} + C4_{\text{Ausbauschicht}} + A1_{\text{Ersatzschicht}} + A2_{\text{Ersatzschicht}} + A3_{\text{Ersatzschicht}}) \quad (\text{Gl. 3-1})$$

mit n := Anzahl der Austauschzyklen in 50 Jahren

Nutzungsdauer von:

10 Jahren: $n= 4$; 15 Jahren: $n= 3$; 20 Jahren: $n= 2$; 25 Jahren: $n=1$;

30 Jahren: $n= 1$; 40 Jahren: $n=1$

3.2 Bewertungsgrundlagen

Tabelle 3-2 fasst je Konstruktionstyp die während des Betrachtungszeitraums berücksichtigten Lebenszyklusphasen übersichtlich zusammen.

Tabelle 3-2: Berücksichtigte Lebenszyklusphasen nach DIN EN 15978:2012-10, Bild 6 in Abhängigkeit des Konstruktionstyps; eigene Darstellung

Konstruktionstyp	Berücksichtigte Lebenszyklusphasen
Bestandskonstruktion, die unverändert weitergenutzt wird (innenliegende Baukonstruktion)	<ul style="list-style-type: none"> Nutzung der Konstruktion ab der Gegenwart: Austausch und Ersatz einzelner Bauteilschichten in den kommenden 50 Jahren (LZPH B4) nach Standardaustauschzyklen¹ Komplette Entsorgung der Konstruktion nach 50 Jahren (LZPH C3/C4) Separate Ausweisung der Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale (Phase D) der Materialien, die in den LZPH B4, C3 und C4 entsorgt werden
Bestandskonstruktion, die gänzlich abgerissen wird	<ul style="list-style-type: none"> Sofortige, komplette Entsorgung der Konstruktion (LZPH C3/C4) Separate Ausweisung der Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale (Phase D) der Materialien, die entsorgt werden
Sanierungskonstruktion (Veränderung/energetische Verbesserung einer Bestandskonstruktion der wärmeübertragenden Umfassungsfläche des Gebäudes)	<ul style="list-style-type: none"> Entsorgung (LZPH C3/C4) einzelner Bauteilschichten, die im Zuge der Sanierung entfernt oder ersetzt werden Herstellung (LZPH A1-A3) der Bauteilschichten, die während der Sanierung eingebaut werden Nutzung der Konstruktion ab der Gegenwart: Austausch und Ersatz einzelner Bauteilschichten in den kommenden 50 Jahren (LZPH B4) nach Standardaustauschzyklen¹ Komplette Entsorgung der Konstruktion nach 50 Jahren (LZPH C3/C4) Separate Ausweisung der Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale (Phase D) der Materialien, die in den LZPH B4, C3 und C4 entsorgt werden
Neubaukonstruktion	<ul style="list-style-type: none"> Herstellung (LZPH A1-A3) der Bauteilschichten Nutzung der Konstruktion ab der Gegenwart: Austausch und Ersatz einzelner Bauteilschichten in den kommenden 50 Jahren (LZPH B4) nach Standardaustauschzyklen¹ Komplette Entsorgung der Konstruktion nach 50 Jahren (LZPH C3/C4) Separate Ausweisung der Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale (Phase D) der Materialien, die in den LZPH B4, C3 und C4 entsorgt werden

¹ gemäß den durchschnittlichen Nutzungsdauern nach BBSR (2017)

3.3 Ermittlung Altbaukonstruktionen

Die baualterstypische Verwendung verschiedener Materialien definiert die Umweltwirkungen repräsentativer Altbaukonstruktionen. Um die ökologische Qualität des Bestandes bzw. der Szenarien – z. B. Sanierung der Gebäude mit gleichbleibender Gebädekubatur – in Kapitel 4.4 (ab Seite 117) berechnen zu können, müssen die Materialeigenschaften der Altbaukonstruktionen ermittelt und deren Umweltwirkungen in den einzelnen Lebenszyklusphasen bilanziert werden.

Die Datenerhebung erfolgt je nach Baualtersklasse unterschiedlich. Für BK 1 bis 8 können die Literaturquellen Gruhler et al. (2002), Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V. (2009b) und Verband Fenster und Fassade und Bundesverband Flachglas e.V. (2017) herangezogen werden. Dabei wird zwischen opaken Bauteilen und Fenstern differenziert. Ab dem Jahr 2002 (ab BK 9) enden die Literaturangaben für opake Bauteile, weshalb ab BK 9 die typischen Baukonstruktionen auf Grundlage von statistischen Bautätigkeitsauswertungen und Angaben von Fachverbänden erstellt werden. Detaillierte Angaben zur Datenerhebung finden sich in den nachfolgenden Kapiteln.

3.3.1 Datenerhebung opaker Bauteile bis BK 8

Die opaken Altbaukonstruktionen der Baujahre von vor 1918 bis einschließlich 2001 werden primär aus den Literaturquellen Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V. (2009b) und Gruhler et al. (2002) generiert. Tabellarisch sortiert werden sie nach den in Kapitel 3.2.2.1 (Seite 54) genannten Bauteilen und den in Kapitel 2.3 (ab Seite 21) definierten Baualtersklassen BK 1 bis BK 8.

Die zwischenzeitliche Veränderung der Altbaukonstruktionen wird zunächst nicht berücksichtigt. Mit Hilfe von Cischinsky und Diefenbach (2018) könnten zwar Annahmen zu nachträglich durchgeführten Dämmmaßnahmen im Wohngebäudebestand getroffen werden, jedoch ist die Aufgliederung nicht baualtersklassenspezifisch und zu ungenau. Zudem können nachträgliche Baumaßnahmen je Gebäude stark voneinander abweichen und sind deshalb im Einzelfall zu überprüfen und anzupassen. Für eine erste Quartiersbetrachtung der ökologischen Auswirkungen verschiedener Baumaßnahmen in frühen Planungsphasen ist dies noch nicht zwingend erforderlich.

Es ist möglich, dass einzelne Bauteile mehreren Baualtersklassen gleichzeitig zugeteilt werden können. Jedes Bauteil erhält eine Kurzbezeichnung, sodass die Ergebnisse später eindeutig zugeordnet werden können. Etwaige Angaben zur regionalen Verbreitung der Bauweisen werden nicht erfasst und somit im Sinne einer deutschlandweit einheitlichen Betrachtung zusammengeführt.

Für jede Schicht eines Bauteils werden die Materialart, die Schichtstärke d [cm], die Rohdichte ρ [kg/m³] sowie die Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK] erhoben. Letztere ist für die spätere Entwicklung von energetischen Sanierungsmaßnahmen notwendig. Jeder Materialbezeichnung werden Datensätze der ÖKOBAUDAT für die Herstellungsphasen (A1-A3), Entsorgungsphasen (C3 und/oder C4) und Gutschriften (Phase D) zugeteilt (vgl. Kapitel 2.1.1, ab Seite 11 bzw. Abbildung 2-2, Seite 12). Die Materialbezeichnungen werden im Zuge der Datenkonsolidierung vereinheitlicht, um die Datensatzwahl und spätere Bilanzierung zu erleichtern. Vereinzelt fehlen spezifische Angaben bei den beschriebenen Bauteilen und ihren Schichtenaufbauten (z. B. Rohdichte, Bauteilstärken und Wärmeleitfähigkeiten). Deshalb werden die fehlenden Materialeigenschaften manuell mit Hilfe der Angaben vergleichbarer Konstruktionen aus anderen Literaturquellen vervollständigt (siehe nachfolgende Kapitel). Bauteilaufbauten, die mehrere Datenlücken aufweisen oder zu ungenau beschrieben sind, werden von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen. Eine detaillierte Darstellung aller bauteilspezifischen Angaben je m² Bauteil und die Zuordnung der gewählten ÖKOBAUDAT-Datensätze finden sich in den Anhängen A.2 und A.5 ab Seite 232.

3.3.1.1 Generierung von Gebäudetrennwänden

Zu Gebäudetrennwänden über und unter Geländeoberkante finden sich in Gruhler et al. (2002) nur vereinzelte Angaben, weshalb vorhandene Außenwandkonstruktionen zur Generierung von Gebäudetrennwandkonstruktionen herangezogen werden. Um daraus die Gebäudetrennwände zu bilden, werden die äußeren Schichten (Vorhangfassade oder Außenputz) vernachlässigt. Bei zweischaligen Außenwänden wird angenommen, dass die äußere Schale bei der entsprechenden Gebäudetrennwand nicht ausgeführt wurde. Bei einschaligen Außenwänden werden die Schichtdicken der tragenden Konstruktion (Ziegel, Kalksandstein, Stahlbeton, usw.) halbiert. Wenn z. B. eine Außenwand eine Vollziegeldicke von 51 cm besitzt, so erhält die Gebäudetrennwand eine Schichtdicke von 25,5 cm. Dies ist erforderlich, um eine Flächendopplung bei der LCA zu vermeiden. Denn im 3D-Stadtmodell ist die Gebäudetrennwandfläche bei jedem Einzelgebäude hinterlegt.

3.3.1.2 Konkretisierung von Dämmmaterialien

Besonders beim Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V. (2009b) fehlen häufig konkrete Materialangaben zu den typisch verwendeten Dämmstoffen je Bauteil, da die energetische Qualität der Bauteile und weniger deren Materialität im Fokus steht. Durch den Vergleich mit Gruhler et al. (2002), Giebeler et al. (2008), Eicke-Henning (2017) und Sprengard et al. (2013) können diese fehlenden Eigenschaften ergänzt werden. Bei nicht weiter spezifizierten Bodenplatten- und Deckendämmungen werden bei den älteren Baualtern Holzwolle-Leichtbauplatten und bei den jüngeren ein Mischdatensatz aus 64 % Mineralwolldämmung, 31 % EPS-Hartschaum und 5 % Holzfaserdämmplatten zugrunde gelegt.

3.3.1.3 Ermittlung fehlender Rohdichten und Wärmeleitfähigkeiten

Gruhler et al. (2002) nennen weder Rohdichten, noch Wärmeleitfähigkeiten der beschriebenen Materialeinsätze. Auch beim Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V. (2009b) fehlen diese Angaben teilweise. Für die Bestimmung eingesetzter Materialmassen ist die Ermittlung der Rohdichte jedoch erforderlich. Zudem beziehen sich manche der verwendeten Datensätze der ÖKOBAUDAT auf das Materialgewicht, wie z. B. „100.1.01 Bauschutttaufbereitung“. Die Materialmasse je m² Bauteil und Schicht wird durch die Multiplikation der in der Literatur angegebenen Schichtdicke mit der ermittelten Rohdichte erreicht. Fehlende Rohdichten werden durch Vergleiche mit anderen Bauteilen der zuvor genannten Literatur ergänzt. Dabei werden baualterstypische Rohdichteangaben bevorzugt verwendet.

Bei fehlenden Angaben zu den einzelnen Wärmeleitfähigkeiten wird analog vorgegangen, denn diese sind zur Identifizierung der dämmenden Eigenschaften der verbauten Materialien und somit zur Entwicklung der nachfolgenden energetischen Sanierungsmaßnahmen notwendig.

Können die historischen Rohdichten und Wärmeleitfähigkeiten nicht ermittelt werden, erfolgt ihre Ergänzung mit Hilfe der Baustoffkennwerte nach DIN 4108-4:2020-11 und DIN EN ISO 10456:2010-05. Alle Ergänzungen zu den einzelnen Materialeigenschaften sind zur Gewährleistung der Transparenz in Anhang A.2 ab Seite 232 farblich (blau) markiert.

3.3.2 Datenerhebung opaker Bauteile von BK 9 bis BK 11

Ziel der Datenerhebung opaker Bauteile in den BK 9 bis 11 ist es, die gängigen Bauweisen sowie deren minimal und maximal auftretenden Umweltwirkungen abzubilden. Analog zu den opaken Bauteilen der BK 1 bis 8 werden die Materialbezeichnungen, Schichtdicken, Wärmeleitfähigkeiten und Rohdichten bestimmt und tabellarisch aufgegliedert (vgl. 3.3.1 ab Seite 59). Mit Hilfe der Bautätigkeitsberichtsanalyse von 2003 bis 2020 (siehe Kapitel 2.3.9, ab Seite 24) können die für die BK 9 bis 11 typischen Bauweisen im Wohnungsbau identifiziert werden:

- Stahlbeton-,
- Ziegel-,
- Porenbeton-,
- Kalksandstein- und
- Holzbauweise.

Bei Ziegel, Porenbeton und Kalksandstein wird angenommen, dass sie lediglich bei Wandkonstruktionen der KG 330 und 340 zur Anwendung kommen (vgl. Tabelle 3-1, Seite 55). Die Holzbauweise wird bei Konstruktionen der KG 330, 340, 350 und 360 berücksichtigt, die nicht gegen Erdreich angrenzen. Demnach finden sich keine Kelleraußenwände und Bodenplatten in Holzbauweise. Stahlbetonkonstruktionen kommen in allen Kostengruppen vor.

Neben der Bauweise bedingen die statisch erforderlichen Bauteildicken der tragenden Konstruktionen sowie die bauphysikalischen Anforderungen (Wärme-, Schall- und

Feuchteschutz) den Materialeinsatz und somit die ökologische Qualität der Baukonstruktionen. So erfolgt eine detaillierte Auseinandersetzung mit möglichen Bauteilaufbauten und Materialkombinationen, die nachfolgend vorgestellt werden. Die konkrete Auflistung aller Bauteilvarianten inklusive der gewählten Schichtenaufbauten und zugrunde liegenden Quellen kann Anhang A.2 ab Seite 232 entnommen werden.

3.3.2.1 Berücksichtigung des Wärmeschutzes bei der Gebäudehüllfläche

Tabelle A. 1 (Anhang A.1, Seite 229) fasst die Annahmen der typischen U-Werte je Bauteil und BK sowie zugehörige Literaturquellen zusammen, die als Grundlage für die Erarbeitung der Bauteilvarianten der Gebäudehüllflächen herangezogen werden. Ferner erhalten auch innenliegende Bauteile ohne Wärmeschutzanforderungen Dämmschichten, da diese zur Gewährleistung des Schallschutzes (Trittschall und Körperschall) erforderlich sind. Ohne Wärmeschutzanforderung fallen diese Dämmschichtdicken geringer aus.

Erforderliche Dämmdicken werden unter Berücksichtigung gängiger Dämmstoffe ermittelt. Wie in Kapitel 2.3.9 bis 2.3.11 (ab Seite 24) erwähnt, dominierte Mineralwolle den Dämmstoffmarkt von 2002 bis 2011, gefolgt von EPS (expandiertem Polystyrol), PU (Polyurethan) und XPS (extrudiertem Polystyrol). Mit Zunahme der Holzbauweise steigt in diesen BK auch der Absatz der nachwachsenden Dämmstoffe Holzfaser und Zellulose, weshalb sie ebenfalls bei der Generierung der Bauteilvarianten berücksichtigt werden. Nach einer Recherche zu den Einsatzgebieten der jeweiligen Dämmstoffe werden ihre minimalen und maximalen Umweltwirkungen (GWP, PENRT und PET) in den einzelnen Lebenszyklusphasen (A1-A3, B4, C3/C4 und D) analysiert.

Für jedes Bauteil der einzelnen Bauweisen entstehen somit mindestens zwei Bauteilvarianten. Die erste Variante besitzt den Dämmstoff mit den geringsten Umweltwirkungen und der besten Dämmqualität (kleinste Wärmeleitfähigkeit). Die zweite Variante besitzt den Dämmstoff mit den höchsten Umweltwirkungen und der größten Wärmeleitfähigkeit. Bei Massivbauweisen erfolgt so ein Vergleich von Mineralfaser- oder EPS- (minimale Umweltwirkungen) mit Holzfaserdämmungen (maximale Umweltwirkungen). Die Umweltwirkungen von PU-Dämmungen liegen innerhalb dieser Spannweite. XPS-Dämmungen kommen im Perimeterbereich und bei Flachdächern zum Einsatz. Zellulose-Einblasdämmung wird standardmäßig bei Gefachdämmungen verwendet, weshalb sie sich bei den Bauteilvarianten der Holzbauweisen wiederfindet.

Dach- und Kellergeschosse können beheizt, teilbeheizt oder unbeheizt sein. Nach Cischinsky und Diefenbach (2018, S. 56) sind ca. 38 % aller Dachgeschosse von Wohngebäuden unbeheizt, 45,5 % vollbeheizt und nur 16,5 % teilbeheizt. Unbeheizte Keller sind bei Bestandsgebäuden mit einem Anteil von 38,9 % eher die Regel. Daneben sind 33,3 % teilbeheizt und 9,3 % vollbeheizt (Cischinsky und Diefenbach, 2018, S. 58). Deshalb werden für die beheizten und unbeheizten Fälle Bauteilvarianten entwickelt. Für die Untersuchung von Teilbeheizungen könnten die Bauteilausführungen theoretisch prozentual

miteinander kombiniert werden. Bei Bedarf können spätere Nutzer:innen der Kennwerte somit vergleichen, ob es ökologischer ist, den Keller und das Dachgeschoss als Wohnraum voll oder anteilig auszubauen oder nicht.

3.3.2.2 Berücksichtigung statischer Erfordernisse

Die ökologische Qualität von Baukonstruktionen steht im direkten Zusammenhang mit ihrer Bauteilmasse. Je größer die verbauten Stoffmengen sind, umso höher sind in der Regel die Grauen Energien und Emissionen. Gerade die Tragkonstruktionen nehmen einen großen Anteil an der Bauteilmasse ein. Deshalb ist es nötig, die gängigen Bereiche der statisch erforderlichen Schichtdicken zu erfassen. Für die überschlägige Abschätzung von Bauteilabmessungen stellen Bergner und Volz (2012, S. 4.90-4.104) notwendige Angaben für die Tragwerksbemessung zur Verfügung, die hierzu herangezogen werden.

Bei den Dachkonstruktionen wird zwischen Steil- und Flachdächern differenziert. **Steildächer** werden hauptsächlich als Sparren-, Pfetten- oder Kehlbalckendächer in Holzbauweise ausgeführt. Im Bestandsbau finden sich zwar auch massive Steildächer, sie stellen jedoch eine Seltenheit dar und werden hier nicht betrachtet. Die Sparrenhöhen werden meist durch die erforderlichen Dämmdicken und weniger durch die statisch erforderliche Bauteilhöhe definiert. Gemäß der Vorgaben von Bergner und Volz (2012, S. 4.91, 4.92) resultieren daraus Sparrendimensionierungen von $b \times h = 80 \times 260$ mm (KVH) bis 120×280 mm (BSH). Der Sparrenabstand wird konstant auf 83,3 cm festgelegt, ein gängiges Achsmaß bei Dachsparren (Überwachungsgemeinschaft Konstruktionsvollholz e.V., o. J., S. 42, 43).

Für **Flachdächer** in Holzbauweise werden parallel die Umweltwirkungen von Brettsperrholzelementen und Holzbalken untersucht. Bei leichten Dachlasten und einer Spannweite kleiner als 5 m schlagen Bergner und Volz (2012, S. 4.93) eine Holzbalkenhöhe h von $l/24$ vor, was bei einer Balkenlänge $l = 5$ m zu einer Balkenhöhe $h = 210$ mm führt. Bei schweren Dachlasten, wie sie z. B. bei intensiver Dachbegrünung auftreten, ergeben sich größere Bauteilhöhen. Unter Annahme einer maximalen Spannweite von bis zu 6,5 m berechnet sich die Balkenhöhe mit $l/16 = 375$ mm. Nach einem Vergleich von Colling (2012, S. 9.66) und der Überwachungsgemeinschaft Konstruktionsvollholz e.V. (2020, S. 42, 43) werden für Flachdächer in Holzrahmenbauweise Balkenabmessungen von $b \times h = 60 \times 210$ mm bis 160×400 mm und ein Balkenabstand von 83,3 cm gewählt.

Erfolgt bei Brettsperrholzdächern ein leichter Aufbau, so reicht beim Einfamilienhaus bis zu einer Spannweite von 4,5 m (Zweifeldträger) eine Konstruktionshöhe von 120 mm. Im mehrgeschossigen Wohnungsbau mit größeren Gesamtlasten und Spannweiten beträgt die maximale Deckenstärke 240 mm. (Binderholz Bausysteme GmbH, o. J., S. 11)

Massive Flachdächer können als Stein- oder Stahlbetondecken ausgeführt werden. Für die jüngeren Baualtersklassen BK 9 bis BK 11 wird jedoch von Stahlbetonkonstruktionen ausgegangen, da sie die gängigere Konstruktionsart darstellen. Zudem bietet die ÖKO-BAUDAT keine Datensätze für Steindecken (BBSR, o. J.).

Bergner und Volz (2012) gehen zwar nicht explizit auf die Dimensionierung der Stahlbetonflachdächer ein, dafür aber auf die der Stahlbetonplattendecken. Die Dicken tragender Deckenkonstruktionen ergeben sich aus den wirtschaftlichen Spannweiten. Bei einachsig gespannten Platten endet die wirtschaftliche Spannweite bei 6 m, woraus bei einer Betonfestigkeit von C30/37 eine Deckenstärke von ca. 240 mm resultiert. Bei zweiachsig gespannten Platten und einer Spannweite von 4 m ist die minimale Deckenstärke ca. 160 mm. (Bergner und Volz, 2012, S. 4.97, 4.98)

Die minimale Deckenstärke wird mit der Betonfestigkeit C20/25 und einem Bewehrungsgehalt von 1 %, die maximale wird mit C30/37 und 2 % Bewehrungsgehalt kombiniert, um die gängigen Bauausführungen abzudecken.

Bei Wohngebäuden sind **Außenwände und Gebäudetrennwände** in der Regel tragend. Im Altbaubestand dominieren ein- und zweischalige Mauerwerkswände. Dagegen sind Pfosten-Riegel-Konstruktionen mit nichttragenden Außenwänden zu vernachlässigen. Der Anteil an Holzbauten nimmt erst seit 2005 wieder deutlich zu. (Diefenbach et al., 2010, S. 52)

Die Tragfähigkeit der Mauerwerkswände beginnt bei einer Schichtdicke von 175 mm. Von den Mauerwerksherstellern können in monolithischer Ausführung maximale Steindicken von bis zu 500 mm bezogen werden. Diese Dicken werden jedoch nicht wegen der Statik, sondern vielmehr aufgrund der Dämmanforderung gewählt.

Die maximalen Umweltwirkungen werden für Außenwände ermittelt, die eine Vorhangfassade aus Faserzementplatten und eine Außendämmung besitzen. Daraus ergibt sich bei den Hochlochziegeln und Porenbetonsteinen eine maximale Schichtdicke von 365 mm und bei Kalksandsteinen von 240 mm.

Die Steindicken von Gebäudetrennwänden über und unter GOK beginnen bei Hochlochziegeln mit 175 mm und enden mit 300 mm. Bei Kalksandsteinen erstreckt sich die Spannweite von 115 mm bis 240 mm, bei Porenbeton von 175 mm bis 480 mm. (KS-Original GmbH, 2021; Wienerberger, 2021; Xella Deutschland GmbH, 2018).

Im Stahlbetonbau wird die Wanddicke durch die Wahl der Betonfestigkeit, den Bewehrungsgehalt und durch die konstruktiven Möglichkeiten bestimmt. In der Regel werden tragende Wände in Stahlbeton und nichttragende Konstruktionen in Leichtbauweise ausgeführt. Die Mindestwandstärke für tragende Stahlbetonwände in Ortbeton beträgt 100 mm (Goris und Schmitz, 2012, S. 5.120). Unter Berücksichtigung der Betonierbarkeit finden sich in der Praxis jedoch selten Wanddicken unter 150 mm, weshalb diese Stärke als Mindestmaß gewählt wird. Als Mindestfestigkeitsklasse wird C20/25 mit einem Bewehrungsgehalt von 1 % definiert. Für geringere Festigkeitsklassen existiert in der ÖKOBAUDAT Version 2020-II kein Datensatz (BBSR, o. J.). Bei höher geschossigen Mehrfamilienhäusern mit Vorhangfassade werden als maximale Gebäudetrenn- und Außenwandstärke 300 mm, kombiniert mit einer Betonfestigkeit von C30/37 und einem Bewehrungsgehalt von 2 % zugrunde gelegt.

Die Tragfähigkeit der Außenwände in Holzrahmenbauweise ist von der Dimensionierung des Gefachs abhängig, das aus Schwellen, Rähmen und Ständern sowie der

aussteifenden Scheibe besteht. Theoretisch sind für tragende Ständer, Rähme und Schwellen minimale Abmessungen ab $b \times h = 60 \times 120$ mm (in KVH oder BSH) möglich (Colling, 2012, S. 9.66). Die Gefachstärke wird jedoch ebenfalls durch die erforderliche Dämmdicke definiert. Sie übersteigt in der Regel die Bauteilabmessungen, die zur Erreichung der Tragfähigkeit nötig wären. Unter Berücksichtigung möglicher Bauteilaufbauten nach dataholz.eu (2021) werden deshalb minimale Ständerstärken von $b \times h = 80 \times 120$ mm und maximale von $b \times h = 80 \times 240$ mm bei einem Achsabstand von 62,5 cm gewählt.

Tragende Außenwände aus Brettsperrholz beginnen bei einer Mindestdicke von 78 mm (dataholz.eu, 2021, Variante "awmopo01a"). Die Mindestdicke wird jedoch mit 90 mm angesetzt, da die maximale Tragfähigkeit von 78 mm dicken Wänden bei mehrgeschossigen Wohngebäuden bald erreicht wird. Die maximale Brettsperrholzdicke wird auf 240 mm begrenzt (max. erhältliche Standarddicke für Brettsperrholzscheiben nach Binderholz Bausysteme GmbH (o. J.)).

Erddruckbelastete Kellerwände sind sowohl in Mauerwerks- als auch Stahlbetonbauweise möglich. Unter Berücksichtigung der baualtersklassenspezifisch erforderlichen Dämmwirkung wird bei Hochlochziegeln und Porenbetonsteinen für die Anwendung als erddruckbelastete Kellerwand eine Wandstärke von 300 mm identifiziert. Bei Kalksandsteinen werden Dicken von 240 mm bis 365 mm untersucht.

Bei erddruckbelasteten Stahlbetonaußenwänden wird eine Mindestwandstärke von 200 mm und eine Maximalwandstärke von 350 mm bilanziert. Die Wahl der Festigkeitsklassen und Bewehrungsgehalte erfolgt analog zu den Außenwänden.

Innenwände in Mauerwerksbauweise können sowohl nichttragend als auch tragend ausgeführt werden. Die Steindicken sind ab 75 mm erhältlich. Es ist unwahrscheinlich, dass in der Praxis Innenwände ausschließlich nichttragend und mit einer Wanddicke von nur 75 mm ausgeführt wurden und werden. Deshalb wird zur Berechnung der ökologischen Qualität eine Mindeststeindicke von 115 mm angesetzt. Die maximale Steindicke für Mauerwerksinnenwände endet in der Regel bei 240 mm. (KS-Original GmbH, 2021; Wienerberger, 2021; Xella Deutschland GmbH, 2018, S. 126-129)

Bei den Stahlbetoninnenwänden wird analog zu den Außenwänden eine minimale Wanddicke von 150 mm und eine maximale Wanddicke von 250 mm (zzgl. Putzschichten) angenommen und mit den zwei Festigkeitsklassen sowie den beiden Bewehrungsgehalten (1 und 2 %) kombiniert.

Um die Umweltwirkungen von Massiv- und Holzinnenwänden vergleichen zu können, erfolgt die Dimensionierung des Holzrahmen- und Holzmassivbaus in Relation zum Mauerwerks- und Stahlbetonbau. Im Holzrahmenbau beginnen die Ständerstärken bei $b \times h = 60 \times 100$ mm für nichttragende und enden bei $b \times h = 120 \times 240$ mm für tragende Innenwände. Als Mindestdicke einer Brettsperrholzinne wand werden analog zur Außenwand 90 mm, und als maximale Dicke 240 mm angesetzt. Die Wahl der weiteren Bauteilaufbauten erfolgt ebenfalls unter Berücksichtigung der allgemein geprüften und zugelassenen Bauteildetails von dataholz.eu (2021).

Die Dimensionierung der massiven **Geschossdecken** erfolgt analog zu den massiven Flachdächern. Bei der Holzbauweise werden Holzbalken- und Brettsperrholzdecken (Kellerdecken, Geschossdecken und oberste Geschossdecke) betrachtet. Für Holzbalkendecken ergeben sich nach Bergner und Volz (2012, S. 4.101) unter Annahme einer Stützweite von 4 bzw. 6,5 m und einem Balkenabstand von 100 cm minimale Abmessungen von $b \times h = 100 \times 200$ mm in Vollholz/Konstruktionsvollholz und maximale Abmessungen von $b \times h = 200 \times 320$ mm in Brettschichtholz. Für die Dimensionierung von Brettsperrholzdecken wird auf Herstellerangaben zurückgegriffen. Binderholz Bausysteme GmbH (o. J.) nennt hier Plattenstärken von mindestens 140 mm und maximal 240 mm.

Für die jüngeren BK werden vereinfacht **Plattengründungen** festgelegt, woraus sich je nach Tragfähigkeit des Untergrundes die erforderliche Bodenplattenstärke ergibt. Die Mindestplattenstärke wird mit 200 mm, die maximale Plattenstärke mit 500 mm definiert. Letztere stellt den Maximalwert für die Ausführung als WU-Beton bei drückendem Wasser und einem gering tragfähigen Untergrund dar. Eine flächige Plattenstärke von 500 mm sollte somit auch annähernd die Materialmassen einer Gründung auf Einzelfundamenten abdecken, weshalb hier eine gesonderte Betrachtung der Fundamente entfällt. Die Wahl der Betonfestigkeiten und Bewehrungsgehalte erfolgt analog zu den Wänden und Decken.

3.3.2.3 Berücksichtigung des Feuchteschutzes

Im Anschluss an die statischen Dimensionierungen werden verschiedene Bauteilkombinationen gebildet. Ziel ist die Darstellung der minimal und maximal auftretenden Umweltwirkungen von Baukonstruktionen im Gesamtlebenszyklus, gegliedert nach Bauteil und Bauweise. Dazu erfolgt eine Vorstudie zu den Umweltwirkungen gängiger Innen- und Außenbekleidungen – wie Putzsysteme, Vorhangfassaden, Installationsebenen, Dämm- und Trennlagen – sowie unterschiedlicher Dach- und Deckenbeläge.

Diese werden mit den gewählten Baukonstruktionen unter Berücksichtigung des Wärme- (vgl. Kapitel 3.3.2.1, Seite 62) und Feuchteschutzes kombiniert. Dabei wird auf Quellen zurückgegriffen, die die anerkannten Regeln der Technik darstellen (dataholz.eu, 2021; wion media services GmbH & Co. KG, o. J.). Die Schichtenaufbauten, die zur Abdichtung von erdberührten Bauteilen nach DIN 18533-1:2017-07 bis DIN 18533-3:2017-07 erforderlich sind, werden ebenso berücksichtigt, wie die Angaben zu Flachdachausführungen nach DIN 18195:2017-07 und DIN 18531-1:2017-07 bis DIN 18531-3:2017-07. Die detaillierte Darstellung aller untersuchten Kombinationen kann Anhang A.2 ab Seite 232 entnommen werden.

3.3.3 Bezugsgrößen

Die erste Bezugsgröße ist die Bauteilfläche [m^2_{Bauteil}]. Die zweite Bezugsgröße stellt die durchschnittliche jährliche Umweltwirkung je m^2 Nettoraumfläche [$m^2_{\text{NRF}} \times a$] nach

DIN 277:2021-08 dar. Diesen Bezug wählen auch BMUB (2015), DGNB (2018), König (2017) und Level(s) (Europäische Kommission, o. J.b), da sie eine gängige Vergleichsgröße bei Planenden darstellt (z. B. bei Nutzungskonzepten oder Energiebedarfsberechnungen).

Kapitel 4 (ab Seite 107) beschreibt, wie die Umweltwirkungen je m^2_{Bauteil} auf Quartiers-ebene berechnet und anschließend auf die m^2_{NRF} oder auf die $m^2_{\text{NRF} \times a}$ bezogen werden. Die sich ergebenden funktionellen Einheiten sind in Tabelle 3-3 aufgelistet.

Tabelle 3-3: Wahl der funktionellen Einheiten der Umweltwirkungen; eigene Darstellung

Umweltwirkung	Funktionelle Einheit
Treibhausgaspotential GWP	kg CO ₂ -Äq./m ² _{Bauteil} , kg CO ₂ -Äq./(m ² _{NRF}), kg CO ₂ -Äq./(m ² _{NRF} × a), t CO ₂ -Äq./(m ² _{NRF}) oder t CO ₂ -Äq./(m ² _{NRF} × a)
Aufwand an gesamter, nicht erneuerbarer Primärenergie PENRT	MJ/m ² _{Bauteil} , MJ/(m ² _{NRF}), MJ/(m ² _{NRF} × a), kWh/m ² _{Bauteil} ,
Aufwand an gesamter Primärenergie PET	kWh/(m ² _{NRF} × a) oder kWh/(m ² _{NRF} × a) (1 Kilowattstunde [kWh] = 3,6 Megajoule [MJ])

3.3.4 Datenerhebung Fenster

Gruhler et al. (2002) nennen die Baustoffzusammensetzungen ehemals verbauter Fenster und Türen, jedoch sind die Angaben unzureichend, um entsprechende ÖKOBAUDAT-Datensätze zuordnen zu können. Demgegenüber stellt die VFF-Studie detaillierte Angaben zu den Fensterproduktionen von 1971 bis 2016 zur Verfügung (vgl. Kapitel 2.4.4, Seite 31). Als Rahmenkonstruktionen dominieren Aluminium-, Holz- und Kunststoffrahmen. Holz-Aluminiumrahmen spielen mit einem Marktanteil von max. 9 % bis 2016 eine untergeordnete Rolle. Die historische Entwicklung der Verglasung erstreckt sich von der Einfachverglasung über die Zweifachverglasung hin zum Dreifach-Wärmedämmglas in der Gegenwart. (Verband Fenster und Fassade und Bundesverband Flachglas e.V., 2017)

Mit Hilfe der in der VFF-Studie angegebenen U-Werte einzelner Glas- und Rahmentypen in Kombination mit BMWI und BMI (2020) können auch für die Baujahre vor 1971 typische Fensterkonstruktionen identifiziert werden.

Um die Umweltwirkungen von Fenstern in den einzelnen Lebenszyklusphasen miteinander vergleichen zu können, ist eine einheitliche Bezugsgröße erforderlich, die bei allen Bauteilen, wie auch bei den Fenstern, auf 1 m² festgesetzt wird. Die Ermittlung einzelner Materialmassen und Umweltwirkungen ist jedoch von typischen Fenstergrößen und -geometrien abhängig. Der VFF benutzt für den Vergleich eine Fenstereinheit mit Abmessungen von 1,3 × 1,3 m. Alternativ verwendet die DIN EN ISO 10077-1:2020-10 für die Ermittlung von typischen U-Werten eine Standardgröße von 1,23 × 1,48 m².

Da Fenstergrößen und -geometrien bereits innerhalb eines einzigen Gebäudes stark voneinander abweichen können und die funktionale Einheit für alle Bauteile ein Quadratmeter ist, wird für die Ökobilanzierung ein fiktives Fenstermaß von $1,0 \times 1,0$ m festgelegt.

Die prozentualen Rahmen- und Glasanteile beeinflussen die Umweltwirkungen maßgebend. Einflügelige Fenster ohne Sprossen haben einen maximalen Glasanteil von 90 %, bei zweiflügeligen Fenstern inklusive Sprossen kann sich der Glasanteil auf 40 % reduzieren. Diese Grenzwerte fließen daher ebenfalls mit in die Bilanzierung ein. Der prozentuale Bezug gewährleistet dabei, dass die Anteile der Fenstermaterialien unabhängig von den vorhandenen Fenstergrößen sind.

Nach der Studie des Verband Fenster und Fassade (o. J.) besitzen einfachverglaste Holzfenster meist Rahmen mit Bautiefen, die kleiner als 60 mm sind. Die Rahmen einfachverglaster Kunststoff- und Metallfenster sind oft kleiner als 50 mm. Verbundfenster hingegen weisen dickere Rahmen mit mindestens 60 mm auf. Zu typischen Blend- und Flügelrahmenbreiten werden weder in der Literatur noch bei den Datensätzen der ÖKOBAUDAT Angaben gemacht, weshalb hier als typischer Mittelwert 60 mm für die weiteren Berechnungen festgelegt wird. Eine differenziertere Betrachtung baualterstypischer Rahmenkonstruktionen entfällt, da für Aluminiumrahmen jeweils nur zwei Blend- und Flügelrahmendatensätze vorhanden sind und sowohl für Holz- als auch Kunststoffrahmen jeweils nur ein Blend- und Flügelrahmendatensatz hinterlegt ist.

- Für BK 1 bis 4 werden bei den Aluminiumrahmen die Datensätze „7.1.05 Aluminium-Rahmenprofil, pulverbeschichtet“ und „7.1.05 Aluminium-Flügelrahmenprofil, pulverbeschichtet“ verwendet,
- ab BK 5 die Datensätze „7.1.06 Aluminium-Rahmenprofil, thermisch getrennt, pulverbeschichtet“ und „7.1.06 Aluminium-Flügelrahmenprofil, thermisch getrennt, pulverbeschichtet“.

Neben den Datensätzen für Blend- und Flügelrahmen fließen auch die Datensätze für die Fugendichtung, den Fenstergriff und die -beschläge in die Bilanzierung ein. Da in der Literatur keine näheren Angaben zu Fensterbeschlägen gemacht werden, werden folgende Annahmen getroffen:

- Einfach verglaste Fenster der BK 1 bis 5 besitzen vermutlich noch keine Drehkippfunktion; deshalb wird der Datensatz „7.4.02 Fenster-Beschlag für Doppelflügel Fenster“ herangezogen.
- Ansonsten wird für die Fensterbeschläge der Datensatz „7.4.02 Fenster-Beschlag für Drehkipfenster (Aluminium)“ gewählt, da er die höchsten Umweltwirkungen beinhaltet.
- Bei Kastenfenstern wird auf der sicheren Seite liegend ein Beschlag mit Drehkippfunktion und ein Beschlag für Doppelflügel Fenster angenommen.

Die Fensterbeschläge nehmen ebenfalls merklichen Einfluss auf die Umweltwirkungen des Fensters. Ihr Einfluss auf die Umweltwirkungen wäre jedoch unverhältnismäßig hoch, wenn durchschnittlich von einem Stück Fensterbeschlag pro m^2 Fensterfläche ausgegangen werden würde. Denn die Einzelfensterflächen von Wohngebäuden übertreffen meist die Fläche $1 m^2$. Deshalb wird die Stückzahl der Beschläge je m^2 Fensterfläche reduziert, und zwar

bezogen auf das Standardfenstermaß von $1,23 \times 1,48 \text{ m}^2$ nach DIN EN ISO 10077-1:2020-10. Hierdurch ergeben sich für Fensterbeschlag und Fenstergriff eine Stückzahl von je 0,55 pro m^2 Fensterfläche.

Analog zu den opaken Bauteilen erhält jeder generierte Fenstertyp eine Kurzbezeichnung und wird den Baualterklassen BK 1 bis 11 zugeordnet. Mit Hilfe der Vergabe von eindeutigen Materialbezeichnungen, Flächenanteilen und Massenangaben können entsprechende Datensätze der Herstellungsphasen (A1-A3), Entsorgungsphasen (C3 und/oder C4) und Gutschriften (Phase D) aus der ÖKOBAUDAT zugewiesen werden. Die Datenzuweisung erfolgt nach den spezifischen Materialbezeichnungen, die Anhang A.5 ab Seite 376 entnommen werden können. Die detaillierte Auflistung der Fensterkonstruktionen im Altbau ist im Anhang A.2 ab Seite 232 zu finden.

3.3.5 Zusammenstellung der erhobenen Altbaukonstruktionen

Das Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V. (2009b) erfasst in ihrem Altbaukonstruktionskatalog 181 Bauteile der Gebäudehüllfläche für BK 1 bis 7: Steildach, Flachdach, Außenwand, oberste Geschossdecke, Kellerdecke und Bodenplatte. Nicht alle Bauteile sind in jeder BK vertreten. Zudem fehlen Angaben zu Bauteilen, die innerhalb der wärmeübertragenden Umfassungsfläche liegen. Die Datenlücken des Altbaukonstruktionskatalogs werden durch Gruhler et al. (2002) und dataholz.eu (2021) geschlossen. Gruhler et al. (2002) beschreiben zusätzlich zum Altbaukonstruktionskatalog Fundamente, Gebäudetrennwände, Kellerwände, Geschossdecken und Innenwände. Informationen zu Holzkonstruktionen jüngerer Baualterklassen liefert dataholz.eu (2021).

Wie bereits erwähnt, wird für die Ermittlung der Fensterkonstruktionen die Studie des Verband Fenster und Fassade und Bundesverband Flachglas e.V. (2017) herangezogen. Mit Hilfe der im vorherigen Kapitel beschriebenen Annahmen können 32 verschiedene Konstruktionen identifiziert werden, die die Eigenschaften der Bestandsfenster beschreiben.

Abbildung 3-3 stellt einen Überblick über die mittels der Literatur erhobenen opaken Bauteile und Fenster dar. Die zugehörigen Beschreibungen der Bauteilnamen sind in Tabelle 3-4 zu finden.

3.3 Ermittlung Altbaukonstruktionen

<p>Zentrum Umweltbewusstes Bauen e.V., 2009b:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 5 Bodenplatten (BP) • 72 Außenwände (EW) • 37 Kellerdecken (CFL) • 35 oberste Geschossdecken (TFL) • 8 Flachdächer (FRO) • 24 Steildächer (PRO) <p>• Insgesamt: 181 opake Bauteile</p>	<p>Gruhler et al., 2002:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 25 Bodenplatten (BP) • 26 Fundamente (F) • 46 Außenwände (EW), inkl. Gebäudetrennwände (SW) • 30 Kellerwände (CW), inkl. Gebäudetrennwände im Keller (SCW) • 54 Innenwände (IW) • 32 Geschossdecken (FL) inkl. Keller- (CFL) und oberste Geschossdecken (TFL) • 4 Flachdächer (FRO) • 16 Steildächer (PRO) <p>• Insgesamt: 233 opake Bauteile</p>	<p>Dataholz.eu, 2021:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2 Steildächer (PRO) • 1 Flachdach (FROwood) • 4 Außenwände (EWwood) • 4 Gebäudetrennwände (SWwood) • 4 Innenwände (IWwood) • 6 Geschoss- und Kellerdecken (CFLwood) <hr/> <p>• Insgesamt: 21 opake Bauteile</p>								
<p>Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 4 Hauptrahmentypen • 7 Glastypeen <p>• Insgesamt: 32 Fenstertypen</p>										
<p>Anzahl baualterspezifisch bilanzierter Bauteilaufbauten im Altbau</p>										
	PRO	FROwood	FROmas	EWmas	EW2shelled	EWcwf	EWwood	SWmas	SW2shelled	
BK 1	7	0	0	19	3	1	16	17	2	
BK 2	6	1	0	13	6	0	0	13	5	
BK 3	11	0	3	33	5	0	0	32	5	
BK 4	18	1	4	36	5	0	0	37	5	
BK 5	22	3	6	33	10	7	0	32	10	
BK 6	6	0	5	12	7	0	1	13	7	
BK 7	8	0	5	15	7	0	1	17	7	
BK 8	5	0	2	5	0	0	0	6	0	
BK 9	4	4	2	4	0	4	4	8	0	
BK 10	4	4	2	4	0	4	4	8	0	
BK 11	4	4	2	4	0	4	4	8	0	
	SWcwf	SWwood	IWmas	IWood	CW	SCW	FLmas	FLwood	TFLmas	
BK1	1	15	4	1	4	4	0	2	0	
BK2	0	0	2	0	2	2	2	0	0	
BK3	0	0	6	0	4	4	4	0	9	
BK4	0	0	20	0	10	10	6	0	12	
BK5	5	0	20	0	10	10	6	0	15	
BK6	0	0	16	0	7	7	6	0	9	
BK7	0	0	20	0	9	10	9	0	10	
BK8	0	0	11	0	3	4	4	0	1	
BK 9	0	4	8	4	15	16	2	4	2	
BK 10	0	4	8	4	15	16	2	4	2	
BK 11	0	4	8	4	16	16	2	4	2	
	TFLwood	CFLmas	CFLwood	BP	F	Walu	Wplas	Wwood	Gesamt	
BK 1	6	6	2	3	3	0	0	4	120	
BK 2	5	8	4	3	3	4	0	4	83	
BK 3	5	17	3	3	5	4	4	4	157	
BK 4	11	19	0	4	8	4	4	4	214	
BK 5	10	20	0	4	8	6	6	6	243	
BK 6	5	5	0	4	4	4	4	4	122	
BK 7	5	6	0	8	7	4	4	4	152	
BK 8	2	2	0	4	5	4	4	4	62	
BK 9	4	2	4	4	0	6	6	6	117	
BK 10	4	2	4	4	0	4	4	6	113	
BK 11	4	2	4	4	0	4	4	6	114	

Abbildung 3-3: Überblick über die Altbauteile und die Anzahl der bilanzierten Bauteilaufbauten je Baualtersklasse; eigene Darstellung (Bauteilabkürzungen siehe Tabelle 3-4)

Tabelle 3-4: Erklärung der gewählten Bauteilabkürzungen; eigene Darstellung

Abkürzung	Englisch	Deutsch
PRO	Pitched Roof	Steildach
FROwood	Flat Roof wooden	Flachdach, Holzkonstruktion
FROmas	Flat Roof massive	Flachdach, Massivkonstruktion
EWmas	Exterior Wall massive	Außenwand, Massivkonstruktion (monolithisch)
EW2shelled	Exterior Wall 2-shelled	Außenwand, zweischalige Konstruktion
EWcwf	Exterior Wall curtain-wall facing	Außenwand mit Vorhangfassade oder be- bzw. hinterlüfteter Fassade
EWwood	Exterior Wall wooden	Außenwand, Holzkonstruktion
SWmas	Shared Wall massive	(Gebäude-)Trennwand, massive Konstruktion
SW2shelled	Shared Wall 2-shelled	(Gebäude-)Trennwand bei zweischaliger Außenwand
SWcwf	Shared Wall curtain-wall facing	(Gebäude-)Trennwand bei Außenwand mit Vorhangfassade
SWwood	Shared Wall wooden	(Gebäude-)Trennwand, Holzkonstruktion
IWmas	Interior Wall massive	Innenwand, Massivkonstruktion
IWood	Interior Wall wooden	Innenwand, Holzkonstruktion
CW	Cellar Exterior Wall	Kelleraußenwand
SCW	Shared Cellar Wall	(Gebäude-)Trennwand im Keller
FLmas	Floor massive	Geschossdecke, Massivkonstruktion
FLwood	Floor wooden	Geschossdecke, Holzkonstruktion
TFLmas	Top Floor massive	Oberste Geschossdecke, Massivkonstruktion
TFLwood	Top Floor wooden	Oberste Geschossdecke, Holzkonstruktion
CFLmas	Cellar Floor massive	Kellerdecke, Massivkonstruktion
CFLwood	Cellar Floor wooden	Kellerdecke, Holzkonstruktion
BP	Base Plate	Bodenplatte
F	Foundation	Fundament
Walu	Window aluminium	Fenster, Aluminiumrahmen
Wplas	Window plastic	Fenster, Kunststoffrahmen
Wwood	Window wooden	Fenster, Holzrahmen

Mindestens 62 (BK 8) und maximal 243 (BK 5) verschiedene Bauteile beschreiben so in Abbildung 3-3 die Bauteileigenschaften der Wohngebäude je Baualtersklasse. Außenwände verfügen über die meisten Informationen. Allerdings sind nicht alle Bauteile in jeder Baualtersklasse vertreten. Zum Beispiel wurden erst in der BK 3 massive Flachdächer (FROmas) oder Kunststofffenster (Wplas) produziert und eingebaut. In den früheren BK finden sich häufiger Holzkonstruktionen, die im weiteren zeitlichen Verlauf durch Massivbauweisen abgelöst wurden (vgl. Kapitel 2.4 ab Seite 28).

3.4 Ermittlung Neubaukonstruktionen

Die Ermittlung und Bilanzierung der Neubaukonstruktionen basieren auf der Analyse von Bautätigkeiten der vergangenen Jahre. Wie Abbildung 2-5 auf Seite 24 zeigt, nimmt die Bedeutung des Holzbaus bei Ein- und Zweifamilienhäusern seit 2002 stetig zu. In den letzten 10 Jahren stieg sein Anteil um 5 % auf insgesamt 20 %. Gleichzeitig sank der Marktanteil der Ziegelbauweise um 4 % auf 31 %. Bei den Mehrfamilienhäusern dominieren aktuell noch die Massivbauweisen (siehe Abbildung 2-6, Seite 25). Die Stahlbetonbauweise pendelte sich in den vergangenen Jahren bei einem Anteil von knapp 20 % ein. Daneben nimmt Kalksandstein mit zuletzt 35 % einen maßgebenden Stellenwert am Markt ein. Ein Grund für die Beliebtheit von Stahlbeton und Kalksandstein im mehrgeschossigen Wohnungsbau sind die hohen Tragfähigkeiten, die diese Bauweisen auch zukünftig notwendig machen. Möglich ist die Zunahme von Holz-Stahlbeton-Hybridkonstruktionen, bei der die Bauweisen entsprechend ihrer jeweiligen Vorteile gezielt eingesetzt werden können: die Tragkonstruktion wird z. B. in Stahlbetonbauweise ausgeführt, die Außenwände bestehen aus hochwärmedämmenden Holzrahmenelementen (Dotzler et al., 2019). Mit den nachfolgend entwickelten Bauteilaufbauten kann theoretisch auch diese Bauweise ökologisch bewertet werden.

3.4.1 Datenerhebung opaker Bauteile und Fenster

Die Datenerhebung neuer opaker Bauteile und Fenster erfolgt analog zur Datenerhebung der Altbaukonstruktionen von BK 9 bis 11 (siehe Kapitel 3.3.2 und 3.3.3 ab Seite 61). Gemäß der Entwicklungen der vergangenen Bautätigkeitsberichte und Marktstudien zu Fenstern und Dämmstoffen (siehe Kapitel 2.3.9, Seite 24 und Kapitel 3.3.2, Seite 61) wird davon ausgegangen, dass sich die Bauweisen und -konstruktionen bei zukünftigen Neubauten ähnlich zu denen der letzten Jahre verhalten.

Die Auswahl der relevanten **Fassadenarten** geschieht unter Abgleich des deutschen Fassadenbestandes. Asam (2017) weist mit Stand 2001 die Putzfassade (ohne WDVS) als die im Bestand am häufigsten vertretene Fassadenart mit einem flächenmäßigen Anteil von 62,6 % aus. Fassaden mit WDVS haben einen Anteil von 9,5 %, wobei sich der Anteil dieser Fassadenart zwischen 2002 bis 2012 nahezu verdoppelt hat. Klinkerfassaden nehmen einen Anteil von 14,3 % ein. Andere Fassadenarten spielen eine eher untergeordnete Rolle. (Asam, 2017, S. 5-6)

Deshalb werden bei der LCA Außenwände mit Putzfassaden, WDVS und vorgehängten, hinterlüfteten Fassaden untersucht, die die minimalen bzw. maximalen Umweltwirkungen bei der Massiv- und Holzbauweise hervorrufen.

Als Dämmstandard wird für die **Konstruktionen der Gebäudehüllfläche** der Passivhausstandard gewählt. Er stellt einen Niedrigstenergiestandard dar, so wie er im GEG gefordert wird. Neben der zwingenden Einhaltung des Mindestwärmeschutzes gibt das GEG zwar

keine verbindlichen U-Werte für die betreffenden Neubauteile vor, jedoch müssen neue Wohngebäude so errichtet werden, dass der Jahresprimärenergiebedarf eines Referenzgebäudes mit gleicher Geometrie, Gebäudenutzfläche und Ausrichtung um 25 % unterschritten wird. (Deutscher Bundestag, 2020, §10)

Die in Anlage 1 des GEG aufgeführten Referenz-U-Werte sind somit als Richtwerte zu verstehen, die im besten Fall unterschritten werden, um den Energiestandard zu erreichen. Deshalb wird der Passivhausstandard als anzustrebender Energiestandard festgelegt, um mit dieser LCA-Studie zum einen die aktuellen und zum anderen die zukünftigen sowie ambitionierten Anforderungen an Niedrigstenergiegebäude erfüllen zu können. Die berücksichtigten U-Werte je Bauteil sind in Tabelle A. 2, Seite 230 dargestellt.

Baukonstruktionen, die sich nicht innerhalb bzw. außerhalb der beheizten Gebäudehülle befinden, obliegen nicht der Einhaltung des GEG und die Dämmschichten entfallen. Deshalb wird beim Steildach, bei den Keller(trenn)wänden und bei der Bodenplatte zwischen beheizt und unbeheizt unterschieden. Bauteile, die an den beheizten Raum angrenzen, erhalten den Index „_h“ (für beheizt, engl. „heated“), jene die an den unbeheizten Raum angrenzen, erhalten den Index „_uh“ (für unbeheizt, engl. „unheated“) (siehe hierzu auch Tabelle 3-1, Seite 55). Oberste Geschossdecken und Kellerdecken fließen in die Bilanzierung mit ein, wenn das Dachgeschoss bzw. das Kellergeschoss unbeheizt sind. Bei Gebäudetrennwänden über GOK wird angenommen, dass sie immer an benachbarte Wohnräume angrenzen, die mit mindestens 19 °C beheizt werden. Somit werden sie nach GEG nicht zur wärmeübertragenden Umfassungsfläche herangezogen und die Dämmanforderungen entfallen (Deutscher Bundestag, 2020, § 30).

Im Zuge der Klimaanpassung ist anzunehmen, dass zukünftig vermehrt begrünte **Flachdächer** in Erscheinung treten. Somit werden sie bei den Neubaukonstruktionen ebenfalls berücksichtigt. Mit zunehmender Substratschichtdicke steigen die Eigenlasten des Flachdachs und somit die statisch erforderlichen Bauteildimensionierungen. Gleichzeitig wirkt sich das Vegetationssubstrat für Dächer nach der ÖKOBAUDAT günstig auf die Umweltwirkungen aus, da es bilanziell in der Herstellungsphase GWP einspeichert (-0,047 kg CO₂-Äq./ kg Substrat) und im Laufe des Lebenszykluses nur noch anteilig freisetzt (Summe Phasen C3/C4: 0,010 kg CO₂-Äq./kg Substrat) (BBSR, o. J., Version 2020-II, Datensatz 1.3.19). Unter Berücksichtigung dieser Wechselwirkung wird das Spardach (Substratdicke von 26 mm) als Gründachkonstruktion mit den maximalen Umweltwirkungen identifiziert. Eine eindeutige Zuordnung von ÖKOBAUDAT-Datensätzen zu vorhandenen Bauteilschichten, wie Bautenschutzmatte, ist wegen fehlender Datensätze nicht immer möglich. Deshalb werden hier Datensatzwerte ähnlicher Materialien verwendet. Berücksichtigt wird das Rohdichteverhältnis des jeweiligen Datensatzes und des zu bilanzierenden Materials nach Herstellerangaben (BBSR, o. J., Version 2020-II; Optigrün international AG, 2021).

Im Jahr 2016 gab es bei den Fenstern vier Hauptrahmentypen am Markt, wobei die Holz-Metallrahmen einen Produktionsanteil von nur 9 % innehielten. Aufgrund des geringen Marktanteils und weil sie eine Mischkonstruktion von Aluminium- und Holzrahmen

darstellen, werden sie bei der Bilanzierung der **Fensterkonstruktionen** vernachlässigt. Zudem existiert in der ÖKOBAUDAT, Version 2020-II kein spezifischer Datensatz zu dieser Rahmenart (BBSR, o. J.). Die Umweltwirkungen können daher nur sehr überschlägig erfasst werden. Da der Passivhausstandard einen Fenster-U-Wert von 0,80 W/m²K fordert (siehe Tabelle A. 2, Seite 230), wird bei der Verglasungsart die Dreifachverglasung untersucht. Bei Holzkastenfenstern, die seit 2014 erneut am Markt in Erscheinung treten, wird die Dreifachverglasung aus einer zweifachen Wärmeschutzverglasung in Kombination mit einer Einfachverglasung gebildet. Analog zu den Altbaukonstruktionen werden die Umweltwirkungen zweier Glasflächenanteile (40 und 90 %) bilanziert. (Verband Fenster und Fassade und Bundesverband Flachglas e.V., 2017)

3.4.2 Zusammenstellung der erhobenen Neubaukonstruktionen

Die Anzahl der erhobenen Neubaukonstruktionen je Bauteil kann Abbildung 3-4 entnommen werden. Zur Generierung der Holzbaukonstruktionen (Holzrahmen- und Holzmassivbau) stehen insgesamt 24 geprüfte Bauteilaufbauten zur Verfügung (dataholz.eu, 2021). Für die Entwicklung der Massivbaukonstruktionen werden verschiedene Herstellerangaben zugrunde gelegt. Spezifische Angaben zu den jeweiligen Literaturquellen finden sich in Anhang A.3 ab Seite 296.

Dataholz.eu, 2021:		Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017:		Ergänzende Herstellerangaben:	
<ul style="list-style-type: none"> • 2 Steildächer (PRO) • 1 Flachdach (FROwood) • 4 Außenwände (EWwood) • 4 Gebäudetrennwände (SWwood) • 4 Innenwände (IWwood) • 9 (oberste) Geschoss- (TFLwood, FLwood) und Kellerdecken (CFLwood) 		<ul style="list-style-type: none"> • 3 Hauptrahmentypen • 3 Glastypeen 		<ul style="list-style-type: none"> • Flachdächer (FROmas) • Außenwände (EWmas) • Gebäudetrennwände (SWwood) • Innenwände (IWmas) • Kellerwände (CW) • Gebäudetrennwände im Kellergeschoss (SCW) • Geschossdecken (FLmas) • Oberste Geschossdecken (TFLmas) • Kellerdecken (CFLmas) • Bodenplatten 	
<ul style="list-style-type: none"> • Insgesamt: 24 opake Bauteile 		<ul style="list-style-type: none"> • Insgesamt: 8 Fenstertypen 		<ul style="list-style-type: none"> • Zusammensetzung der Bauteile mit Hilfe verschiedener Quellen 	

Anzahl bilanzierter Bauteilaufbauten im Neubau								
	PRO_h	PRO_uh	FROmas	FROwood	EWmas	EWwood	SWmas	SWwood
nb	2	2	2	4	8	4	8	4
	IWmas	IWood	CW_h	CW_uh	SCW_h	SCW_uh	FLmas	FLwood
nb	8	4	8	8	8	8	2	4
	TFLmas	TFLwood	CFLmas	CFLwood	BP_h	BP_uh		
nb	2	4	2	4	2	2		
	Walu	Wplas	Wwood	Gesamt				
nb	2	2	4	108				

Abbildung 3-4: Überblick über die Neubauteile und die sich daraus ergebenden Bauteilaufbauten; eigene Darstellung (Bauteilabkürzungen siehe Tabelle 3-4, Seite 71)

Bei den Fenstern kommen nur noch Dreifachverglasungen – entweder dreifache Wärmeschutzverglasung oder zweifache Wärmeschutzverglasung plus Einfachverglasung – in

Kombination mit Kunststoff, Holz- und Aluminiumrahmen – zum Einsatz (Verband Fenster und Fassade und Bundesverband Flachglas e.V., 2017). Aus den Literaturangaben und getroffenen Annahmen werden insgesamt 108 Baukonstruktionen für den Neubau von Wohngebäuden im Passivhausstandard abgeleitet.

3.5 Ermittlung Sanierungskonstruktionen

Bei den Sanierungsvarianten wird die energetische Sanierung, also die Dämmung der Gebäudehüllkonstruktionen nach Niedrigstenergiestandard betrachtet. Innenliegende Bauteile, wie Innenwände und Geschossdecken werden nicht untersucht, da ihre Sanierung keinen Beitrag zur Senkung des Heizwärmebedarfs und somit zur Senkung des Energieverbrauchs und Emissionsausstoßes im Gebäudebetrieb leistet.

Als Sanierungsstandard wird der Effizienzhausstandard 55 der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) angestrebt. Die Effizienzhaus-Stufe 55 bedeutet dabei, dass der Jahresprimärenergiebedarf des Gebäudes nur 55 % des im GEG geforderten Referenzgebäudes beträgt. Der Transmissionswärmeverlust darf dabei maximal 70 % des Referenzgebäudes betragen – in der vorliegenden Arbeit wird dieser Standard abgekürzt als „KfW-55-Standard“ bezeichnet. (Deutscher Bundestag, 2020; KfW, 2021)

Die Wahl fällt bei der Sanierung auf den KfW-55-Standard, da er die technische Mindestanforderung der KfW für energieeffiziente Sanierungen darstellt. Zudem können die dadurch erforderlichen Dämmdicken im Gegensatz zu denen des Passivhausstandards konstruktiv leichter umgesetzt werden. Das Merkblatt der KfW über die technischen Mindestanforderungen für die Sanierung von Bestandsgebäuden regelt die Anforderungen an die Wärmedurchgangskoeffizienten der Gebäudehülle. Tabelle A. 3, Seite 231 fasst die herangezogenen U-Werte zusammen. Auflagen des Denkmalschutzes werden vernachlässigt. Hier muss eine Prüfung im Einzelfall erfolgen. (KfW, 2020)

Ob der KfW-55-Standard als Sanierungsstandard für einen klimaneutralen Wohngebäudebestand ausreicht, hängt insbesondere von der Art und Verfügbarkeit der Wärmeenergiequellen im Betrieb ab. Es muss im Einzelfall abgewägt werden, ob der Einsatz an Grauen Energien und Grauen Emissionen zur Herstellung ambitionierter Dämmdicken den betrieblichen Energiebedarf und seine Umweltwirkungen wesentlich reduziert. Werden die Gebäude mit fossilen Energieträgern beheizt, ist es sinnvoll die konstruktiven Dämmmöglichkeiten maximal auszuschöpfen. Erfolgt die Beheizung der Gebäude nahezu klimaneutral, kann der bauliche Aufwand für einen ambitionierten Niedrigstenergiestandard ökologisch unverhältnismäßig sein.

3.5.1 Ermittlung der maßgebenden Altbaukonstruktionen

Für die Bilanzierung der Sanierungsvarianten werden je Baualtersklasse und Bauteil zunächst diejenigen Altbaukonstruktionen identifiziert, die zu den geringsten und höchsten lebenszyklusbasierten Umweltwirkungen führen. Dabei werden die Einflüsse der drei Indikatorwerte (GWP, PENRT und PET) mit Hilfe einer einfachen Normierung gegenübergestellt. Durch eine Normierung liegen die Bezugswerte im Wertebereich zwischen 0 und 1 und können dimensionslos miteinander verglichen werden.

Im ersten Schritt werden für eine Anzahl n an Baukonstruktionen je Bauteil und Baualtersklasse die Summen der Werte für GWP, PENRT und PET über die LZPH A1-C4 gebildet, wobei eine Standard-Gebäudelebensdauer von 50 Jahren angenommen wird (siehe Gl. 3-2 bis Gl. 3-4). Die Phase D bleibt unberücksichtigt, da sie immer separat zu den Umweltwirkungen der LZPH ausgewiesen werden muss und außerhalb der LZPH mögliche Potentiale aufzeigt, die in der Praxis nicht zwingend in Erscheinung treten. Liegen die lebenszyklusbasierten Umweltwirkungen eines Indikators im negativen Bereich, weil über den Lebenszyklus hinweg beispielsweise mehr GWP gebunden als freigesetzt wird, wird die Summe und somit der Einfluss des Indikatorwertes auf Null gesetzt. Im zweiten Schritt (Gl. 3-5 bis Gl. 3-7) wird je Indikator der Maximalwert identifiziert.

$$GWP_{i=1..n} = GWP_{i,A1-A3} + GWP_{i,B4} + GWP_{i,C3} + GWP_{i,C4} \geq 0 \quad \begin{matrix} [\text{kg CO}_2\text{-} \\ \text{Äq./m}^2] \end{matrix} \quad \text{Gl. 3-2}$$

$$PENRT_{i=1..n} = PENRT_{i,A1-A3} + PENRT_{i,B4} + PENRT_{i,C3} + PENRT_{i,C4} \geq 0 \quad \begin{matrix} [\text{MJ/m}^2] \end{matrix} \quad \text{Gl. 3-3}$$

$$PET_{i=1..n} = PET_{i,A1-A3} + PET_{i,B4} + PET_{i,C3} + PET_{i,C4} \geq 0 \quad \begin{matrix} [\text{MJ/m}^2] \end{matrix} \quad \text{Gl. 3-4}$$

$$GWP_{\max} = \max \{GWP_1, \dots, GWP_n\} \quad \begin{matrix} [\text{kg CO}_2\text{-} \\ \text{Äq./m}^2] \end{matrix} \quad \text{Gl. 3-5}$$

$$PENRT_{\max} = \max \{PENRT_1, \dots, PENRT_n\} \quad \begin{matrix} [\text{MJ/m}^2] \end{matrix} \quad \text{Gl. 3-6}$$

$$PET_{\max} = \max \{PET_1, \dots, PET_n\} \quad \begin{matrix} [\text{MJ/m}^2] \end{matrix} \quad \text{Gl. 3-7}$$

Anschließend werden die Werte in Gl. 3-8 normiert und addiert. Der Summenwert der normierten Umweltwirkungen liegt dabei zwischen 0 und 3. Final werden so je Bauteil und Baualtersklasse zwei Altbaukonstruktionen – einmal diejenige mit den normiert minimalen und einmal diejenige mit den normiert maximalen Umweltwirkungen – ermittelt (Gl. 3-9 und Gl. 3-10). Für diese zwei Baukonstruktionen werden mögliche energetische Sanierungsvarianten untersucht, die wiederum jeweils die geringsten und größten Umweltwirkungen verursachen. So ergeben sich je Bauteil und Baualtersklasse insgesamt mindestens vier Sanierungsvarianten. Wird bei den Bauteilen zwischen mehreren Bauweisen oder Baumaterialien unterschieden (z. B. Außenwand massiv: Ziegel, Porenbeton, Kalksandstein und Stahlbeton), erhöht sich die Anzahl der Sanierungsvarianten für das Bauteil (hier insgesamt 16).

$$X_{i=1..n} = \frac{GWP_{1..n}}{GWP_{\max}} + \frac{PENRT_{1..n}}{PENRT_{\max}} + \frac{PET_{1..n}}{PET_{\max}} \leq 3 \quad \begin{matrix} [\text{MJ/m}^2] \end{matrix} \quad \text{Gl. 3-8}$$

$$\min \{x_1, \dots, x_n\} \quad \begin{matrix} [-] \end{matrix} \quad \text{Gl. 3-9}$$

$$\max \{x_1, \dots, x_n\} \quad \begin{matrix} [-] \end{matrix} \quad \text{Gl. 3-10}$$

Dieses Vorgehen führt nicht zwangsläufig dazu, dass die Altbaukonstruktion mit den lebenszyklusbasiert geringsten Umweltwirkungen bei ihrer Sanierung ebenfalls die geringsten Umweltwirkungen hervorruft. Vor allem beim Einsatz von Holzbaustoffen sind die Zusammenhänge komplexer. Lebenszyklusbasiert sind ihre Umweltwirkungen gering. Zwar wird bei Holzkonstruktionen in der Phase C3 durch das Szenario der thermischen

Verwertung ein hoher Anteil an CO₂ freigesetzt, jedoch wird zuvor bei ihrer Herstellung ein signifikanter Anteil an CO₂ in Form von Kohlenstoff eingelagert. Die CO₂-Bilanz gleicht sich somit aus. Da bei den Sanierungsvarianten die Herstellungsphasen der Altbaukonstruktion allerdings nicht berücksichtigt werden, erscheint das lebenszyklusbasierte GWP der sanierten Holzkonstruktion zunächst sehr hoch. Durch die Berücksichtigung der Phase D reduziert sich dieses Ungleichgewicht jedoch wieder, weshalb an der beschriebenen Methode festgehalten werden kann. Nur ist darauf zu achten, dass bei der Bewertung von Holzkonstruktionen immer die Phase D mitbetrachtet werden muss.

3.5.2 Datenerhebung opaker Bauteile

Wie auf Seite 76 erläutert, werden die Sanierungsvarianten nur für Bauteile der wärmeübertragenden Umfassungsfläche entwickelt. Diese ist abhängig von der Wahl der beheizten Geschosse des Gebäudes. Wird das Dachgeschoss als Wohnraum genutzt, gehört das Steildach zur wärmeübertragenden Umfassungsfläche und es muss gemäß des erforderlichen Dämmstandards saniert werden. Ansonsten wird die oberste Geschossdecke saniert. Bei Flachdachkonstruktionen ist davon auszugehen, dass das oberste (Voll-)Geschoss immer als Wohnraum genutzt wird. Bleibt das Kellergeschoss nach der Sanierung unbeheizt, wird die Kellerdecke energetisch ertüchtigt. Ansonsten werden die Kelleraußenwände, Gebäudetrennwände unter GOK und die Bodenplatte saniert. Bei Außenwänden und Fenstern wird nie zwischen dem beheizten und unbeheizten Fall unterschieden, da sie immer zur wärmeübertragenden Umfassungsfläche gehören.

Die Generierung der Sanierungsvarianten verläuft unter Berücksichtigung folgender Fragestellungen:

- Welchen U-Wert besitzen die Bestandskonstruktionen und welche Dämmdicke ergibt sich daraus bei der Sanierung?
- Welche Sanierungsarten (Außen-, Zwischen- oder Innendämmung) werden auf Basis der erforderlichen Dämmdicke oder konstruktiver Möglichkeiten in der Praxis favorisiert ausgeführt?
- Welche Bauteilschichten und Konstruktionen müssen ausgebaut werden, um die Bauteile energetisch ertüchtigen zu können (z. B. Dacheindeckungen, Beläge oder Bekleidungen)?
- Können vorhandene Dämmschichten theoretisch weiterverwendet werden, insbesondere, wenn sie gute Wärmeleitfähigkeiten aufweisen und ihre Standardnutzungsdauer noch nicht überschritten haben?
- Welche Bauteilschichten müssen während der Sanierung erstellt werden, um den Wärme- und Feuchteschutz zu gewährleisten?
- Welche in der Praxis vertretenen Sanierungsvarianten führen zu den geringsten und welchen zu den höchsten Umweltwirkungen unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Indikatoren GWP, PENRT und PET?

Diese Fragen werden bei jeder maßgebenden Altbaukonstruktion (siehe Kapitel 3.5.1, Seite 76) zugrunde gelegt und in Einzelstudien beantwortet. Die so ermittelten und bilanzierten Sanierungskonstruktionen sind im Anhang A.4 ab Seite 311 dargestellt.

Bei **Steildächern** werden bei erforderlichen Dämmdicken von bis zu 300 mm bevorzugt Zwischen- und Aufsparrendämmungen ausgeführt. Somit können die für die Wohnnutzung notwendigen lichten Raumhöhen besser gewährleistet werden. Auch vorhandene, intakte Innenbekleidungen bleiben erhalten. Ferner kann das Dachgeschoss während der Bauphase weiter bewohnt werden. Sind im Bestand keine Innenbekleidungen vorhanden, was auf bisher unbewohnte/unbeheizte Dachgeschosse zutrifft, werden je nach erforderlicher Dämmdicke und resultierender Umweltwirkungen Innen-, Zwischen- und Außendämmungen kombiniert. Bei den Dachdeckungen verursacht eine Biberschwanzziegeldeckung aufgrund ihrer Materialmasse die größten Umweltwirkungen, die geringsten gehen mit der Blecheindeckung einher. Aus der Mineralwolle (Innenausbau) resultieren die geringsten, aus der Holzfaserdämmung die größten Umweltwirkungen.

Da Dachabdichtungen von massiven **Flachdächern** spätestens nach 30 Jahren erneuert werden müssen, werden sie mit einer Außendämmung saniert (BBSR, 2017). Trotz eines zweimaligen Austausches während einer Gebäudelebensdauer von 50 Jahren besitzt die PVC-Dachbahn als Abdichtung die geringsten Umweltwirkungen. Der für eine Dachbegrünung erforderliche Dachaufbau generiert die größten Umweltwirkungen, wobei mit zunehmender Substratdicke ein gewisser Anteil des anfallenden GWP kompensiert werden kann (Optigrün international AG, 2021). Die Dämmstoffe müssen druckbelastbar sein. Daher werden für die Flachdachdämmung Polystyrolämmungen (EPS und XPS) eingesetzt. Zur Ermittlung der minimal und maximal auftretenden Umweltwirkungen bei Flachdachkonstruktionen in Holzbauweise ab BK 9 werden Innendämmungen mit Außendämmungen verglichen.

Zur Festlegung der Dämmart bei **Außenwänden** wird eine Studie zum deutschen Wohngebäudebestand herangezogen. Demnach erhalten einschalige Mauerwerkswände von Altbauten bis Baujahr 1978 zu 85,9 % ± 1,7 % Außendämmungen. Zweischalige Außenwände werden mit einem Anteil von 57,1 % ± 4,4 % außen und mit einem Anteil von 31,0 % ± 4,2 % im Zwischenraum gedämmt. Bestehende Betonfertigteile erhalten immer Außendämmungen. Bei Fachwerkswänden dominieren die Innendämmungen mit 54,5 % ± 9,0 %. Dies ist auf den Denkmalschutz der Fachwerksgebäude zurückzuführen, der die Veränderung der Außenfassade oft unterbindet. Da in dieser Arbeit die spezifischen Auswirkungen des Denkmalschutzes nicht betrachtet werden, wird für die in der Literatur aufgeführten zehn Fachwerkswände eine Außendämmung zugrunde gelegt, die mit einem Anteil von 39,8 % ± 8,5 % ebenfalls üblich ist. Nachträgliche Dämmungen werden im Holzbau zu 91,2 % ± 7,6 % als Außendämmung ausgeführt. (Diefenbach et al., 2010, S. 54)

Kombiniert werden die Dämmmaßnahmen mit zwei Fassadentypen: dem WDVS (geringste Umweltwirkungen) und der hinter-/belüfteten (Vorhang)fassade aus Faserzementplatten (höchste Umweltwirkungen). Als Dämmmaterialien kommen erneut Mineral-, Holz- und Zellulosefaser zum Einsatz.

Die **Gebäudetrennwände über GOK** werden nicht energetisch saniert, da davon auszugehen ist, dass sie immer an benachbarte Wohnräume angrenzen, die mit mindestens 19 °C beheizt werden. Nach GEG gehören sie demnach nicht zur wärmeübertragenden Umfassungsfläche.

Zählt der Keller nach der Sanierung zum beheizten Wohnraum (siehe Abbildung 3-5, links), werden sowohl die **Kelleraußenwände** als auch die **Gebäudetrennwände im Kellergeschoss** gedämmt. Neben der Wahl einer druckfesten Dämmung (XPS) wird bei der Sanierung der Kelleraußenwand gegen Erdreich auch der Feuchteschutz nach DIN 18533-3:2017-07 berücksichtigt. Dies geschieht unter Verwendung von Bitumen- oder PE-HD-Flächenabdichtungen in Kombination mit Noppenbahnen. Gebäudetrennwände im Kellergeschoss müssen mit einer Innendämmung (Mineral- oder Holzfaserdämmung) versehen werden, da eine Außensanierung nur durch Abriss der Nachbarräume möglich wäre. Der Feuchteschutz kann dabei mittels einer PE-Folie in Kombination mit einer Gipsfaserplatte oder mittels einer OSB-Platte in Kombination mit einer GKF-Platte gewährleistet werden.

Wird der Keller nach der Sanierung nicht beheizt (siehe Abbildung 3-5, rechts), muss die **Kellerdecke** die KfW-55-Anforderungen erfüllen. Kellerdecken werden standardmäßig von unten gedämmt, insbesondere wenn es sich um Massivdecken handelt. Auch hier werden die Umweltwirkungen einer Mineralwoll- und einer Holzfaserdämmung verglichen. Bei Holzbalkendecken ist daneben die Dämmung des Balkenzwischenraums sinnvoll. So werden hier die ökologischen Auswirkungen einer Zwischendämmung mit denen einer Dämmung von unten verglichen.

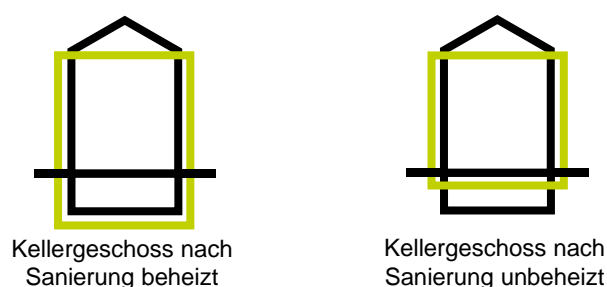


Abbildung 3-5: Skizzenhafte Darstellung der Gebäudesanierung mit und ohne beheiztem Kellergeschoss; eigene Darstellung

Bei unbewohntem Dachgeschoss ist die energetische Sanierung der **obersten Geschossdecke** sehr leicht umsetzbar. Die Verlegung von Mineralwolldämmung auf massiven Decken ist die Variante mit den geringsten Umweltwirkungen. Soll die oberste Geschossdecke begehrbar bleiben, wird die Bauteildämmung (Holzfaser) mit einer Balkenlage und

Trockenestrichplatten kombiniert. Bei Holzbalkendecken bietet sich die Kombination aus Zwischendämmung und Dämmung von oben an.

Die Beheizung des Kellergeschosses im KfW-55-Standard erfordert eine hochdämmende **Bodenplatte**, wobei hier nur eine nachträgliche Innendämmung möglich ist. Bei Gebäuden der BK 1 und 2 kann es vorkommen, dass der untere Abschluss gegen Erdreich nur aus einem Bretterboden besteht, der auf Holzbalken gelagert ist. Dann geht eine Sanierung neben der Einbringung der erforderlichen Dämmschichten mit einer Entsorgung der Altbaukonstruktion und der Ergänzung einer Stahlbetonplatte einher. Als Minimalausführung wird für die Bilanzierung eine nichttragende 150 mm dicke Stahlbetonplatte mit einer Festigkeitsklasse von C20/25 und einem Armierungsgehalt von 1 % gewählt. Als Maximalausführung wird eine nichttragende Stahlbetonplatte mit C25/30 und einem Armierungsgrad von 2 % untersucht. Letztere stellt die Mindestanforderung an die Ausführung als wasserundurchlässige Bodenplatte dar (InformationsZentrum Beton GmbH, 2019). Lediglich die geforderte Mindestdicke von 250 mm wird für die LCA-Betrachtung auf 300 mm erhöht. XPS wird als Perimeterdämmung eingesetzt. Bleibt die alte Bodenplatte erhalten, wird die oberseitige Dämmung erneut mit Mineralwolle- oder Holzfaserdämmplatten ausgeführt. Beim Bodenbelag wird lediglich ein 50 bis 75 mm starker Zementestrich berücksichtigt.

3.5.3 Datenerhebung Fenster

Fenster können durch Glas- oder Komplettaustausch saniert werden. Da der Glasaus-tausch hauptsächlich bei denkmalgeschützten Fenstern zum Einsatz kommt und der Denkmalschutz hier nicht berücksichtigt wird, wird bei Fenstern im Bestand der Komplettausbau und Ersatz durch Neubaufenster im KfW-55-Standard angenommen. Der KfW-55-Standard macht mit einem U-Wert von $0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$ (siehe Tabelle A. 3, Seite 231) analog zum Passivhausstandard eine Dreifachverglasung notwendig. Weitere Angaben zu den neuen Fensterkonstruktionen können Kapitel 3.4.1 ab Seite 72 entnommen werden.

3.5.4 Zusammenstellung der erhobenen Sanierungskonstruktionen

Mit Hilfe der in Kapitel 3.5.1, Seite 76 beschriebenen Methode werden insgesamt 171 maßgebende opake Altbaukonstruktionen identifiziert. Da manche Altbaukonstruktionen in mehreren Baualtersklassen gleichzeitig vertreten sind, können bis zu 100 Sanierungsvarianten die Umweltwirkungen einer Gebäudesanierung beschreiben (hier: Gebäude der BK 5 in Abbildung 3-6). Ziel der Methode ist es, dass je Bauteil und Baualtersklasse mindestens vier Sanierungsmaßnahmen vorhanden sind, die die Bandbreite der möglichen Umweltwirkungen (minimal und maximal) beschreiben. Wie Abbildung 3-6 darstellt, existieren nicht für alle Bauteile je Baualtersklasse Sanierungskonstruktionen. Dies beruht zum einen darauf, dass manche Bauteile in der jeweiligen Baualtersklasse noch nicht vertreten waren (z. B. massive Flachdächer (FRomas) in BK 1 und 2). Zum anderen konnten teilweise keine

3.5 Ermittlung Sanierungskonstruktionen

ausreichenden Literaturangaben zu Altbaukonstruktionen gefunden werden. Entweder wird für die betreffende BK keine einzige Konstruktion ausgewiesen (z. B. Holzaußenwand (EWwood) in BK 2 bis 5) oder es existiert nur eine einzige Konstruktion (z. B. Flachdach in Holzbauweise (FROwood) in BK 2).

Identifizierung der für die Bilanzierung der Sanierungsvarianten maßgebenden Altbaukonstruktionen zu Generierung der minimal und maximal auftretenden Umweltwirkungen je Bauteil (vgl. Abbildung 3-3, Seite 70)	
<ul style="list-style-type: none"> • 14 Steildächer (PRO) • 6 Flachdächer in Holzbauweise (FROwood) • 11 Flachdächer in Massivbauweise (FROmas) • 13 Massive Außenwände (EWmas) • 10 Zweischalige Außenwände (EW2shelled) • 7 Außenwände mit Vorhangfassade (EWcwf) • 7 Außenwände in Holzbauweise (EWwood) • 15 Kelleraußenwände (CW) 	<ul style="list-style-type: none"> • 15 Gebäudetrennwände im Keller (SCW) • 12 Oberste Geschossdecken in Massivbauweise (TFLmas) • 15 Oberste Geschossdecken in Holzbauweise (TFLwood) • 18 Kellerdecken in Massivbauweise (CFLmas) • 12 Kellerdecken in Holzbauweise (CFLwood) • 16 Bodenplatten (BP)
<ul style="list-style-type: none"> • Insgesamt: 171 opake Bauteile 	

Anzahl bilanzierter Bauteilaufbauten in der Sanierung									
	PRO_h	FROwood	FROmas	EWmas	EW2shelled	EWcwf	EWwood	CW_h	SCW_h
BK 1	8	0	0	8	4	2	4	6	6
BK 2	4	2	0	4	4	0	0	4	4
BK 3	8	0	6	6	4	0	0	6	4
BK 4	12	2	8	10	4	0	0	10	8
BK 5	12	4	8	8	8	4	0	10	8
BK 6	6	0	6	8	8	0	2	6	6
BK 7	6	0	6	8	8	0	2	8	10
BK 8	4	0	4	4	0	0	0	4	4
BK 9	4	4	4	4	0	4	4	4	4
BK 10	4	4	4	4	0	4	2	4	4
BK 11	4	4	4	4	0	4	2	4	4
	TFLmas_uh	TFLwood_uh	CFLmas_uh	CFLwood_uh	BP_h	Gesamt			
BK1	0	6	8	4	6	62			
BK2	0	4	6	6	6	44			
BK3	4	6	8	4	6	62			
BK4	4	8	12	0	8	86			
BK5	12	8	10	0	8	100			
BK6	14	4	6	0	6	72			
BK7	16	4	8	0	10	86			
BK8	2	4	4	0	4	34			
BK 9	4	4	4	8	4	56			
BK 10	4	4	4	8	4	54			
BK 11	4	4	4	8	4	54			

Abbildung 3-6: Überblick über die Altbaukonstruktionen und deren bilanzierte Sanierungsvarianten je Baualterklasse; eigene Darstellung (Bauteilabkürzungen siehe Tabelle 3-4, Seite 71)

Diese Lücken können durch die gleichzeitige Berücksichtigung verwandter Bauteilkonstruktionen geschlossen werden. Bei der Betrachtung auf Quartiersebene können bei den Außenwänden gleichzeitig die minimalen und maximalen Umweltwirkungen von EWmas, EW2shelled und EWcwf herangezogen werden (EWmas_total), um die ökologischen Auswirkungen einer Außenwandsanierung darzustellen. Die gemeinsame Berücksichtigung ist auf Quartiersebene in frühen Planungsphasen sinnvoll, da in der Regel nicht von jedem Einzelgebäude die genaue Außenwandausführung bekannt ist. Es obliegt den späteren

Nutzer:innen, die beschriebenen Datenlücken zu schließen, um genauere Fallunterscheidungen durchführen zu können. Wie in Kapitel 3.5.3 dargestellt, werden für die Fenster keine Sanierungskonstruktionen ermittelt. Denn im Fall einer Sanierung wird angenommen, dass die Bestandsfenster vollständig rückgebaut und durch neue Fenster ersetzt werden.

3.6 Auswahl und Erstellung ökologischer Datensätze

Die Bilanzierung typischer Baukonstruktionen erfolgt mit Hilfe der national vereinheitlichten Datenbank der ÖKOBAUDAT in der Version 2020-II (siehe Kapitel 2.1.2.3, Seite 15). Für einige Bauprodukte stehen in der ÖKOBAUDAT verschiedene Datensatztypen zur Verfügung. Für die Ökobilanzierung eines Einzelgebäudes, bei der die Umweltwirkungen der ausgeführten Bauweise im Vordergrund stehen, sollten die Datensätze der tatsächlich verbauten Baustoffe verwendet werden (spezifische Datensätze). Sie haben den Vorteil, dass Prozessabläufe und die einhergehenden Umweltwirkungen genau abgebildet werden. Bei einem Variantenvergleich in frühen Planungsphasen steht die tatsächliche Ausführung jedoch noch nicht fest. Spezifische Datensätze würden den Umfang der Umweltwirkungen nur teilweise widerspiegeln. Die Verwendung repräsentativer Datensätze ist bei Betrachtungen auf Quartiers- oder Stadtebene besser, da sie die durchschnittlichen Umweltwirkungen eines Landes oder einer Region erfassen. Deshalb fließen primär repräsentative Datensätze ein. Liegen für die Bauprodukte keine repräsentativen Datensätze vor, erfolgt die Verwendung der Datensätze gemäß der Abbildung 3-7 dargestellten Reihenfolge.

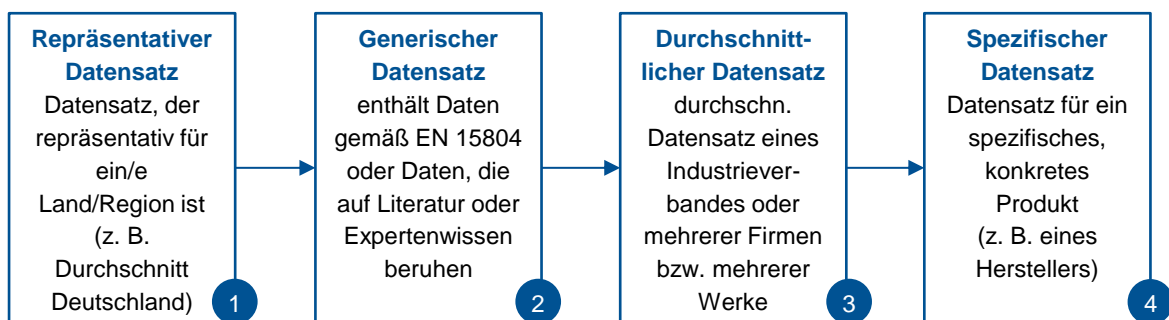


Abbildung 3-7: Reihenfolge der für die Erstellung der ökologischen Kennwerte verwendeten Datensätze in der ÖKOBAUDAT, Version 2020-II; eigene Darstellung

Vor der spezifischen Zuordnung der Datensätze, werden die in der Literatur aufgeführten Materialbezeichnungen homogenisiert oder gemäß ihrer Verwendung spezifiziert. Bei Holz muss z. B. zwischen (Konstruktions-)Vollholz und (Nadel-)Schnittholz unterschieden werden, wofür in der ÖKOBAUDAT verschiedene Datensätze existieren (BBSR, o. J.). Für den Fall, dass für einen Baustoff keine passenden Daten zur Verfügung stehen, empfiehlt die DGNB einen technisch naheliegenden Ökobilanz-Datensatz zu verwenden (DGNB, 2018). Dieser Fall tritt insbesondere bei Baustoffen von Altbaukonstruktionen ein, die nicht mehr verbaut werden oder deren Materialeigenschaften und Produktionsprozesse sich geändert haben. Hierzu gehören z. B. alte Betonfestigkeitsklassen. Deshalb werden sie unter einer Materialbezeichnung zusammengefasst und dem Datensatz mit der kleinsten Druckfestigkeitsklasse zugeordnet (siehe Abbildung 3-8). Als weiteres Beispiel kann die Schilfrohrmatte genannt werden, die ehemals als Putzträger verwendet wurde. Hierfür muss ein Baustoffdatensatz gewählt werden, der die Schilfrohrmatte am besten beschreibt. In diesem Fall fällt die Wahl auf Baustroh.

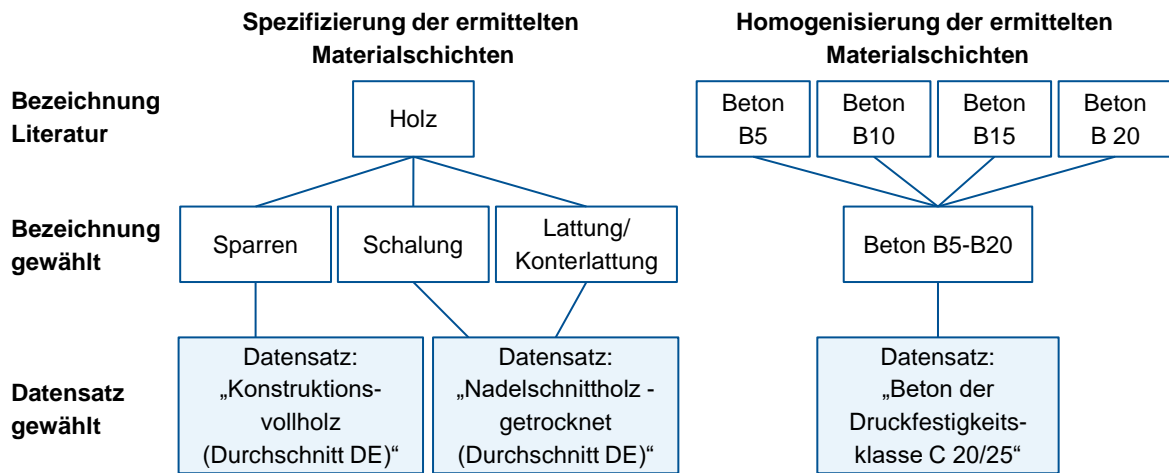


Abbildung 3-8: Beispielhafte Vorgehensweise bei der Auswahl eines geeigneten ÖKOBAUDAT-Datensatzes; eigene Darstellung

Ferner ist die Generierung von Mischdatensätzen sinnvoll, wenn es sich wie beim Stahlbeton um hybride Baustoffe handelt. Der Bewehrungsgehalt des Stahlbetons bestimmt die Zusammensetzung der Mischdatensätze für die jeweiligen Lebenszyklusphasen. Abbildung 3-9 zeigt den Ablauf am Beispiel des GWP einer Stahlbetonhohlkörperdecke für jede einzelne Lebenszyklusphase (vgl. hierzu auch Anhang A.5 ab Seite 376). Eine Besonderheit ist, dass im Datensatz des Bewehrungsstahls nur die Umweltwirkungen und Ressourcenaufwendungen für die Herstellungsphasen ausgewiesen sind. Da Bewehrungsstahl aus Recyclingstahl gewonnen bzw. am EoL wieder in den Recyclingkreislauf zurückgeführt wird, entfällt die Ausweisung der Umweltwirkungen in den LZPH C3 und C4. Die Werte für die Phase D werden separat für den Fall der Entsorgung und den Fall des Austausches und Ersatzes (Phase B4) ermittelt. Somit können die Quartiersentwicklungsszenarien des Kapitels 4.4 ab Seite 117 flexibel berechnet werden. Es ist zu beachten, dass nicht alle Datensätze der ÖKOBAUDAT Angaben zur Phase D enthalten, obwohl das jeweilige Material in der Praxis gewisse Wiederverwertungs- oder Recyclingpotentiale besitzen würde. Dies stellt einen weiteren Grund dar, weshalb die Phase D immer separat ausgewiesen werden muss und die Werte im Einzelfall detailliert betrachtet werden müssen (siehe auch Kapitel 3.2.2.2, Seite 56). Auch für Mauerwerkskonstruktionen werden Mischdatensätze aus Ziegel und Mörtel gebildet. Die Mörtelschichten nehmen dabei je nach zugrunde gelegtem Ziegelformat Volumenanteile von 5 bis 25 % ein. Bei den gewählten Volumenanteilen handelt es sich entweder um Vorgaben von Gruhler et al. (2002) oder praxisbezogene Annahmen.

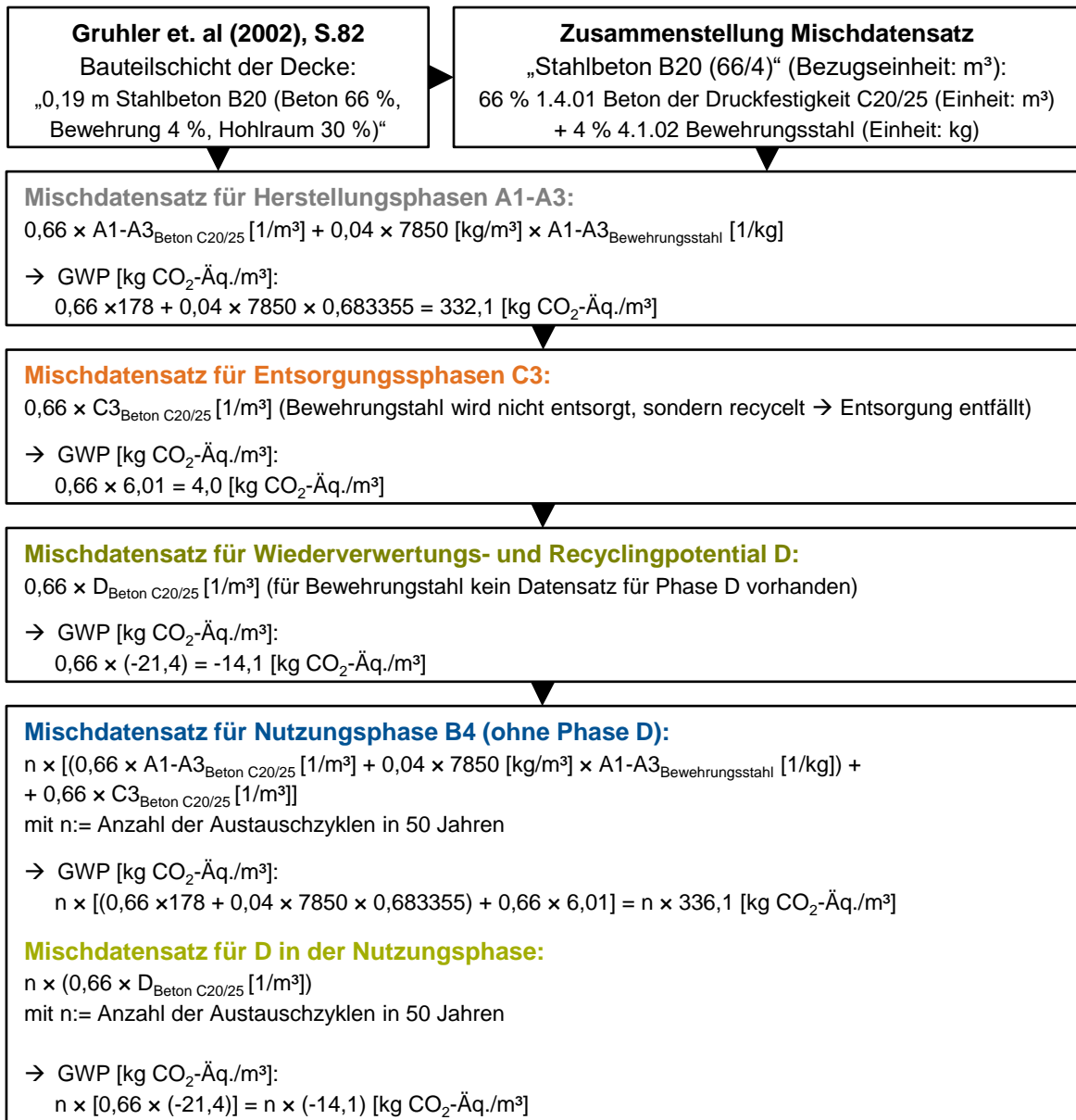


Abbildung 3-9: Ablauf Datensatzwahl am Beispiel der Stahlbetonhohlkörperdecke nach Gruhler et al. (2002); die Ermittlung von PENRT und PET erfolgt analog; eigene Darstellung

Für die Bilanzierung aller Baukonstruktionen werden insgesamt 226 Materialbezeichnungen identifiziert. Die Bezeichnungen sowie die zugehörigen Datensätze, Einheiten und die einzelnen Umweltwirkungen je Lebenszyklusphase können Anhang A.5 ab Seite 376 entnommen werden. Parallel sind dort je Materialbezeichnung die durchschnittlichen Nutzungsdauern und die Anzahl der Austauschzyklen in 50 Jahren vorzufinden.

3.7 Bilanzierung der Konstruktionen und Datenaufbereitung

3.7.1 Allgemeine Vorgehensweise bei der Datenaufbereitung

Auf Basis einer eindeutigen Materialbezeichnung werden mittels Microsoft Excel die einzelnen Bauteilschichten der Baukonstruktionen mit den ÖKOBAUDAT-Datensätzen verknüpft. Für jede Baukonstruktion erfolgt eine Ökobilanzierung mit Berücksichtigung des GWP, der PENRT und PET einer jeden Schicht bzw. Komponente, indem die Schichtdicken oder -massen mit den zugehörigen Datensatzwerten multipliziert und für das Gesamtbau- teil – opakes Bauteil oder Fenster – aufsummiert und tabellarisch ausgegeben werden. Bei der Berechnung wird jede Lebenszyklusphase einzeln betrachtet, um die später gewählten LCA-Szenarien flexibel berechnen zu können (vgl. Kapitel 4.5 und 4.6 ab Seite 122).

Die bilanzierten Baukonstruktionen sind so aufbereitet, dass sie auch als Grundlage für weiterführende Analysen des Gebäudebestandes herangezogen werden können. Hier sind nicht nur bauteilspezifische Analysen möglich, sondern auch die Erstellung von lebenszyklusbasierten Kostenkennwerten. Die beschriebenen Materialeigenschaften sind vollständig und transparent dargestellt. Mit Hilfe der angegebenen Rohdichten und Schichtdicken können Massenberechnungen durchgeführt werden, die über die Umweltwirkungen hinaus auch Aussagen zum aktuellen oder zukünftigen anthropogenen Lager zulassen und beispielsweise die Dissertation von Heinrich (2019) ergänzen.

Neben der detaillierten Ausweisung der bilanzierten Konstruktionsaufbauten (siehe Anhang A.2 bis A.4 ab Seite 232) wird eine tabellarische Darstellung der minimal und maximal auftretenden Umweltwirkungen je Bauteil und Baualtersklasse gewählt. Denn innerhalb einer BK definieren unterschiedliche Bauteilkonstruktionen die Grauen Energien und Emissionen der Gebäudesubstanz. Dies beruht auf den variierenden Bauteildicken und verwendeten Baustoffen. Für eine bestehende massive Außenwand können beispielsweise in BK 4 36 verschiedene Bauteilvarianten herangezogen werden (vgl. Abbildung 3-3, Seite 70).

Auf die Bildung von Durchschnittswerten wird verzichtet, denn wegen fehlender Angaben zur quantitativen Verbreitung der einzelnen Baukonstruktionen im deutschen Wohngebäudebestand sind die Daten nicht ausreichend statistisch belastbar. Die Berechnung von statistisch fundierten Durchschnittswerten setzt zudem eine ausreichende Datenanzahl voraus, die nicht für jede Konstruktion gewährleistet werden kann.

Abbildung 3-10 stellt exemplarisch den Wertebereich des GWP monolithischer, massiver Außenwände (EWmas) je Baualtersklasse und gewählter Lebenszyklusphasen (A-C oder A-D) dar. Die grünen Punkte zeigen die minimalen und die orangen die maximalen GWP-Werte je m² Bauteil. Sie variieren je nachdem, ob die Phase D mitberücksichtigt wird oder nicht. Die Werte in BK 6 und BK 7 verdeutlichen, dass die Generierung von Durchschnittswerten irreführend sein könnte, da die Minima innerhalb der Baualtersklasse Ausreißer darstellen, die bei einer rein statistischen Auswertung nicht betrachtet werden würden. Es

handelt sich hierbei um eine 7,5 cm dicke Stahlbetonwand nach den Angaben von Gruhler et al. (2002, S. 91), so wie sie im Plattenbau der 50er bis 70er Jahre als Außenwand erstellt wurde. Da sie typisch für diesen Baustil ist, findet sie in den Baualtersklassen 3 bis 7 Berücksichtigung, stellt aber gleichzeitig nicht die maßgebende Konstruktion dieser Bauepochen dar. In BK 8 ist diese Konstruktion nicht mehr vertreten. Hier verursacht nach der Literatur zufolge eine 24 cm dicke, verputzte Gasbetonwand die geringsten Umweltwirkungen.

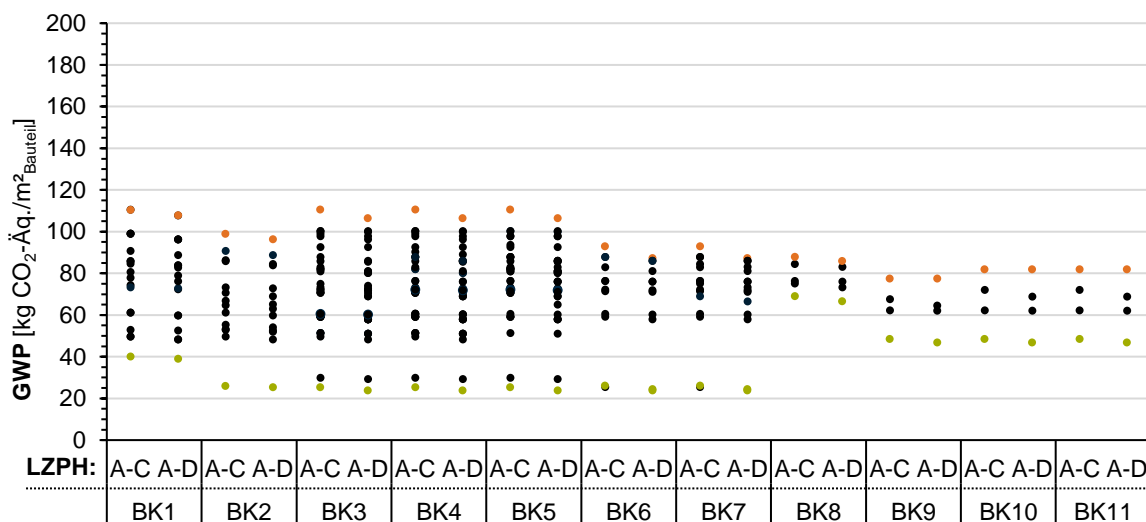


Abbildung 3-10: Verteilung des GWP je m² monolithischer, massiver Außenwände (EWmas) je Baualtersklasse (BK 1 bis BK 11) und berücksichtigter Lebenszyklusphasen; eigene Darstellung

In BK 9 bis 11 sind jeweils nur vier verschiedene monolithische Außenwandkonstruktionen vorhanden. Dies beruht darauf, dass die zugrunde liegenden Konstruktionsaufbauten nicht aus der Literatur entnommen, sondern manuell auf Basis der Bautätigkeitsberichte erstellt werden (vgl. Kapitel 3.3.2 ab Seite 61). Da hier bereits die möglichen Spannweiten der Konstruktionsausführungen berücksichtigt sind, existieren insgesamt nicht so viele Baukonstruktionen wie in den Baualtersklassen davor. Zudem ist darauf zu achten, dass in BK 9 bis 11 die maximalen Umweltwirkungen nicht von monolithischen Außenwänden, sondern von Außenwänden mit Vorhangfassaden bzw. hinter- oder belüfteten Fassaden ausgehen (EWcwf). Sollen also die Wertebereiche der Umweltwirkungen von massiven Außenwänden gänzlich dargestellt werden, müssen gleichzeitig die Aufbauten von monolithischen (EWmas) und zweischaligen Außenwänden (EW2shelled) sowie von Außenwänden mit Vorhangfassade berücksichtigt werden. Letztlich reichen auch hier die vier Baukonstruktionen nicht aus, um aus deren GWP einen Durchschnittswert für massive, monolithische Außenwände zu generieren.

Um eine Aussage über die ökologische Qualität einer Baukonstruktion treffen zu können, sind die drei Umweltindikatoren gleichzeitig zu bewerten. Denn eine Konstruktion kann theoretisch zwar das niedrigste GWP, jedoch die größte PET besitzen. Ziel ist es aber, die Baukonstruktionen zu bestimmen, die in allen drei Kategorien gleichzeitig geringe oder hohe Umweltwirkungen hervorrufen. Je Bauzustand – Altbau, Neubau oder Sanierung –

und Baualter werden so mit Hilfe einer Normierung der Einzelwerte für GWP, PENRT und PET die zwei maßgebenden Baukonstruktionen identifiziert. Die Vorgehensweise der Wertnormierung ist in Kapitel 3.5.1 ab Seite 76 am Beispiel der maßgebenden Altbaukonstruktionen beschrieben. Abschließend wird eine zusammenfassende Bauteiltabelle generiert, die als csv-Datei ausgegeben werden kann. Dabei handelt es sich um einen Dateityp, bei dem die hinterlegten Informationen nicht in Spalten, sondern durch Kommas getrennt gespeichert werden (Microsoft, 2021). So können sie von verschiedenen existierenden digitalen LCA-Tools eingelesen werden. Beispielsweise können die csv-Dateien in SQL-Datenbanken importiert und als Datenbasis für die LCA von Baukonstruktionen auf Stadtquartiersebene herangezogen werden (vgl. hierzu auch Kapitel 4 ab Seite 107).

In den folgenden Kapiteln werden die genannten Datenaufbereitungen für die Altbau-, Neubau- und Sanierungskonstruktionen genauer erläutert. Ansonsten finden sich alle genannten Daten in den Anhängen A.2 (ab Seite 232), A.3 (ab Seite 296) A.4 (ab Seite 311), A.6 (ab Seite 399), A.7 (ab Seite 439) und A.8 (ab Seite 450).

3.7.2 Bilanzierung und Darstellung der Altbaukonstruktionen

Alle ermittelten und bilanzierten Altbaukonstruktionen sowie die Summen ihrer lebenszyklusbasierten Grauen Energien und Emissionen sind im Anhang A.2 ab Seite 232 dargestellt. Tabelle 3-5 kann die Datenstruktur der opaken Baukonstruktionen am Beispiel der Steildächer (PRO) entnommen werden. In der ersten Spalte findet sich ein eindeutiger Bauteilname, in der zweiten Spalte ist der Zeitraum angegeben, für die die jeweilige Konstruktion typisch ist. Danach folgt die Zuordnung zu den entsprechenden Baualtersklassen. Die Konstruktion „PRO_2“ war beispielsweise bis 1948 üblich, weshalb sie BK 1 und 2 zugeordnet wird. Die aus der Literatur direkt entnommenen Materialbezeichnungen erhalten die Schriftfarbe Schwarz. Werden die Bezeichnungen homogenisiert oder leicht verändert, sind sie blau eingefärbt. Ebenso wird mit den Schichtstärken, Rohdichten und Wärmeleitfähigkeiten (λ -Wert) verfahren, die nicht direkt aus der Literatur entnommen werden können und auf Basis weiterer Recherchen ergänzt werden. Ferner finden sich zu jeder Baukonstruktion die Literaturquellen. Auf der rechten Seite der Tabelle sind die Gesamtergebnisse der Grauen Emissionen und Energien für jede Baukonstruktion zu sehen: einmal die Summe der LZPH A bis C und einmal inklusive der Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale (LZPH A bis D).

Bei den Fenstern gestaltet sich die tabellarische Struktur etwas anders. Hier werden die einzelnen Materialien über ihre Fläche, die Laufmeter und/oder ihr Gewicht beschrieben (siehe Tabelle 3-6). Da die Fensteraufbauten inkl. ihrer Materialbezeichnungen nicht direkt aus der Literatur entnommen werden, sondern auf deren Basis erstellt werden, werden alle Materialeigenschaften in blauer Schrift dargestellt.

3.7 Bilanzierung der Konstruktionen und Datenaufbereitung

Tabelle 3-5: Tabellenauszug aus den bilanzierten opaken Altbaukonstruktionen, Gesamtübersicht siehe Anhang A.2 ab Seite 232; eigene Darstellung

Bauteilname	Zeitraum	Zugehörige Baualtersklassen										Aufbau				Quelle	GWP (A-C) [kg CO ₂ -Äq.]	PENRT (A-C) [MJ]	PET (A-C) [MJ]	GWP (A-D) [kg CO ₂ -Äq.]	PENRT (A-D) [MJ]	PET (A-D) [MJ]	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Materialbezeichnung	Stärke [cm]	Rohdichte [kg/m ³]								λ-Wert [W/mK]
PRO_1	bis 1918	x											Reetdach	35,00	100,00	-	Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V. (ZUB), 2009b, S. 31	-74,6	114,7	1273,8	-93,0	-132,1	1345,5
			Luftschrift, stark belüftet	-	-	-																	
			Sparren	2,50	492,92	-																	
			Schalung	2,40	484,51	0,14																	
			Schilfrohrmatte	1,00	100,00	0,08																	
											Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70									
PRO_2	bis 1948	x x											Dachziegel	2,75	2180,00	-	ZUB, 2009b, S. 32	27,1	416,6	582,9	4,9	119,3	666,9
			Lattung	0,50	484,51	-																	
			Konterlattung	0,48	484,51	-																	
			Luftschrift, stark belüftet	-	-	-																	
			Sparren	2,50	492,92	-																	
											Schalung	2,40	484,51	0,14									
											Schilfrohrmatte	1,00	100,00	0,08									
											Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70									
PRO_3	1949-1957	x											Dachziegel	2,75	2180,00	-	ZUB, 2009b, S. 34	42,6	521,5	830,8	14,7	163,4	836,6
			Lattung	0,50	484,51	-																	
			Konterlattung	0,48	484,51	-																	
			Sparren	2,50	492,92	-																	
			Luftschrift, stark belüftet	-	-	-																	
											Schalung	2,40	484,51	0,14									
											Holzwohle-Leichtbauplatte	5,00	360,00	0,09									
											Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70									

Tabelle 3-6: Tabellenauszug aus den bilanzierten Fensterkonstruktionen im Altbau, Gesamtübersicht siehe Anhang A.2 ab Seite 232; eigene Darstellung

Bauteilname	Zeitraum	Zugehörige Baualtersklassen										Aufbau			Quelle	GWP (A-C) [kg CO ₂ -Äq.]	PENRT (A-C) [MJ]	PET (A-C) [MJ]	GWP (A-D) [kg CO ₂ -Äq.]	PENRT (A-D) [MJ]	PET (A-D) [MJ]		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Materialbezeichnung	Fläche [m ²]								Laufmeter [lrm]	Gewicht [kg]
Walu_1	bis 1978	x x x x											Einfachverglasung	0,90	-	-	Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017 und BMWI & BMI, 2020	53,9	720,1	861,4	38,7	517,2	592,8
			Aluminium-Blendrahmen	0,10	0,80	-																	
			Aluminium-Flügelrahmen	0,10	0,80	-																	
			Fugendichtungsband	0,40	4,00	0,11																	
			Fenstergriff	-	-	0,06																	
			Fensterbeschlag, Doppelflügel Fenster	-	-	0,56																	
Walu_2	bis 1978	x x x x											Einfachverglasung	0,40	-	-	Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017 und BMWI & BMI, 2020	142,8	1960,1	2505,3	64,4	918,3	1122,2
			Aluminium-Blendrahmen	0,30	4,80	-																	
			Aluminium-Flügelrahmen	0,30	4,80	-																	
			Fugendichtungsband	0,40	4,00	0,11																	
			Fenstergriff	-	-	0,06																	
			Fensterbeschlag, Doppelflügel Fenster	-	-	0,56																	
Walu_3	bis 1979	x x x x x											Einfachverglasung	1,80	-	-	Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017 und BMWI & BMI, 2020	116,5	1560,6	1888,4	79,6	1069,9	1245,7
			Aluminium-Blendrahmen	0,10	1,60	-																	
			Aluminium-Flügelrahmen	0,10	1,60	-																	
			Fugendichtungsband	0,80	8,00	0,22																	
			Fenstergriff	-	-	0,11																	
			Fensterbeschlag, Doppelflügel Fenster	-	-	0,56																	
											Fensterbeschlag, Drehklappenfenster	-	-	0,56									

Anschließend werden, wie in Kapitel 3.7.1 beschrieben, je Baualtersklasse und Bauteil die maßgebenden Konstruktionen für die minimalen und maximalen Umweltwirkungen ermittelt. Tabelle 3-7 zeigt dies am Beispiel des Steildaches in BK 1. Diese Baualtersklasse wird

durch sieben Konstruktionen definiert. Je m² Steildach weist die Baualtersklasse ein GWP von -74,6 bis 40,9 kg CO₂-Äq., eine PENRT von 114,7 bis 971,3 MJ und eine PET von 347,7 bis 1273,8 MJ auf. Durch Anwendung der Normierung wird die Konstruktion „PRO_25“ als Konstruktion mit den minimalen Umweltwirkungen und „PRO_26“ als Konstruktion mit den maximal auftretenden Umweltwirkungen identifiziert. Hierbei ist darauf hinzuweisen, dass negative Werte (vgl. GWP/GWP_max bei „PRO_1“) nicht berücksichtigt werden und in diesem Fall der Wert auf Null gesetzt wird. Ansonsten würde die Normierung verfälscht werden.

Tabelle 3-7: Ermittlung der maßgebenden Baukonstruktionen für minimal und maximale Umweltwirkungen am Beispiel des Steildaches (PRO) in BK 1; eigene Darstellung

Bauteil-name	GWP (A1-A3)	PENRT (A1-A3)	PET (A1-A3)	GWP (B4, 50a)	PENRT (B4, 50a)	PET (B4, 50a)	GWP (C3)	PENRT (C3)	PET (C3)	GWP (C4)	PENRT (C4)	PET (C4)	GWP (A-C)	PENRT (A-C)	PET (A-C)
PRO_1	-79,2	87,9	1197,5	-39,8	22,0	542,4	39,4	2,8	-409,6	5,0	2,0	-56,5	-74,6	114,7	1273,8
PRO_2	-20,8	404,6	1065,8	0,0	0,0	0,0	47,6	10,0	-483,4	0,3	2,0	0,6	27,1	416,6	582,9
PRO_16	-3,8	387,6	810,5	0,0	0,0	0,0	28,5	8,6	-284,6	0,3	2,0	-0,2	25,0	398,1	525,7
PRO_17	-15,6	409,9	1015,0	0,0	0,0	0,0	44,4	9,8	-450,3	0,2	3,0	3,3	29,1	422,7	568,1
PRO_23	-1,2	488,0	1011,9	0,0	0,0	0,0	41,9	8,9	-258,6	0,1	2,0	2,2	40,9	498,9	755,5
PRO_25	-32,7	201,7	835,5	0,0	0,0	0,0	47,4	6,1	-487,8	0,0	0,0	0,0	14,6	207,9	347,7
PRO_26	-30,5	493,2	1015,8	5,8	460,5	471,7	39,4	2,8	-409,6	1,0	14,9	16,0	15,6	971,3	1093,9

Bauteil-name	GWP/GWP_max	PENRT/PENRT_max	PET/PET_max	Summe Normierung	
PRO_1	0,0	0,1	1,0	1,1	
PRO_2	0,7	0,4	0,5	1,5	
PRO_16	0,6	0,4	0,4	1,4	
PRO_17	0,7	0,4	0,4	1,6	
PRO_23	1,0	0,5	0,6	2,1	
PRO_25	0,4	0,2	0,3	0,8	maßgebendes Bauteil für minimale Umweltwirkungen
PRO_26	0,4	1,0	0,9	2,2	maßgebendes Bauteil für maximale Umweltwirkungen

Durch die baualtersklassenspezifische Normierung entsteht je Bauteil eine zusammenfassende Tabelle, mit Angabe der minimal und maximal auftretenden Umweltwirkungen je Lebenszyklusphase (A1-A3, B4, C3, C4, D und DofB4; siehe Tabelle 3-8). Sie kann, wie im vorherigen Kapitel beschrieben, als csv-Datei exportiert und in verschiedene LCA-Tools zur Bilanzierung von LCA-Szenarien eingelesen werden. Die Umweltwirkungen sind eindeutig benannten Variablennamen zugeordnet. Somit können die ab Kapitel 4.6, Seite 124 beschriebenen Berechnungsmethoden direkt auf die ökologischen Kennwerte zurückgreifen. Grundsätzlich können die Nutzer:innen der Daten entscheiden, welche Lebenszyklusphasen und einhergehenden Umweltwirkungen sie je nach Bauszenario berücksichtigen möchten und welche nicht. Die erste Position definiert die Baualtersklasse. „1_“ steht für BK 1, „11_“ für BK 11. Position zwei („z. B. „A1A3_“) gibt die Lebenszyklusphase an, die die Umweltwirkungen in den Spalten zwei bis vier zugeordnet werden können. Bei „DofB4“ handelt es sich um die Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale, die durch den Austausch und Ersatz der Bauteile in LZPH B4 entstehen. Sie können optional zusammen mit der LZPH D (Potentiale am EoL des Bauteils) bei den Szenarienberechnungen berücksichtigt werden. Die letzte Position („_min“ oder „_max“) macht kenntlich, ob es sich in Spalte zwei bis vier

3.7 Bilanzierung der Konstruktionen und Datenaufbereitung

um die minimalen oder maximalen Umweltwirkungen des Bauteils handelt. Die vollständige Darstellung aller Bauteile im Altbau ist im Anhang A.6 ab Seite 399 zu finden.

Tabelle 3-8: Min. und max. Umweltwirkungen eines Steildaches (PRO_old) im Bestand unter Berücksichtigung der Baualtersklasse bezogen auf 1 m² Bauteilfläche; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	-32,7	201,7	835,5
1_A1A3_max	-30,5	493,2	1015,8
2_A1A3_min	-3,8	387,6	810,5
2_A1A3_max	-1,2	488,0	1011,9
3_A1A3_min	8,8	230,2	362,5
3_A1A3_max	-21,0	509,1	1311,4
4_A1A3_min	-18,3	70,9	423,1
4_A1A3_max	-16,8	547,5	1320,1
5_A1A3_min	-18,3	70,9	423,1
5_A1A3_max	13,0	488,3	932,0
6_A1A3_min	-18,3	70,9	423,1
6_A1A3_max	4,8	503,8	882,6
7_A1A3_min	-18,3	70,9	423,1
7_A1A3_max	15,3	848,7	1419,6
8_A1A3_min	-14,7	76,9	399,0
8_A1A3_max	15,3	848,7	1419,6
9_A1A3_min	-41,8	277,3	1094,8
9_A1A3_max	-67,2	1110,0	2961,8
10_A1A3_min	-41,8	277,3	1094,8
10_A1A3_max	-67,2	1110,0	2961,8
11_A1A3_min	-41,8	277,3	1094,8
11_A1A3_max	-67,2	1110,0	2961,8
1_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
1_B4_50a_max	5,8	460,5	471,7
2_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_max	53,8	760,7	806,5
8_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
8_B4_50a_max	53,8	760,7	806,5
9_B4_50a_min	1,0	14,7	15,9
9_B4_50a_max	1,0	14,7	15,9
10_B4_50a_min	1,0	14,7	15,9
10_B4_50a_max	1,0	14,7	15,9
11_B4_50a_min	1,0	14,7	15,9
11_B4_50a_max	1,0	14,7	15,9
1_C3_min	47,4	6,1	-487,8
1_C3_max	39,4	2,8	-409,6
2_C3_min	28,5	8,6	-284,6
2_C3_max	41,9	8,9	-258,6
3_C3_min	8,3	5,3	-77,5
3_C3_max	63,5	10,4	-482,8
4_C3_min	26,7	3,1	-275,6
4_C3_max	61,1	11,4	-456,3
5_C3_min	26,7	3,1	-275,6
5_C3_max	32,8	15,6	-251,3
6_C3_min	26,7	3,1	-275,6
6_C3_max	26,1	11,3	-256,3
7_C3_min	26,7	3,1	-275,6
7_C3_max	44,6	4,1	-408,1
8_C3_min	24,3	3,3	-250,3
8_C3_max	44,6	4,1	-408,1
9_C3_min	63,3	4,8	-627,6
9_C3_max	145,0	4,4	-840,3
10_C3_min	63,3	4,8	-627,6
10_C3_max	145,0	4,4	-840,3
11_C3_min	63,3	4,8	-627,6
11_C3_max	145,0	4,4	-840,3
1_C4_min	0,0	0,0	0,0
1_C4_max	1,0	14,9	16,0
2_C4_min	0,3	2,0	-0,2
2_C4_max	0,1	2,0	2,2
3_C4_min	0,0	0,0	0,0
3_C4_max	0,1	2,0	2,2

4_C4_min	0,0	0,0	0,0
4_C4_max	1,3	2,3	2,5
5_C4_min	0,0	0,0	0,0
5_C4_max	0,8	12,0	13,6
6_C4_min	0,0	0,0	0,0
6_C4_max	3,1	2,9	3,3
7_C4_min	0,0	0,0	0,0
7_C4_max	0,7	10,4	11,3
8_C4_min	0,0	0,0	0,0
8_C4_max	0,7	10,4	11,3
9_C4_min	0,0	0,0	0,0
9_C4_max	0,4	5,5	6,2
10_C4_min	0,0	0,0	0,0
10_C4_max	0,4	5,5	6,2
11_C4_min	0,0	0,0	0,0
11_C4_max	0,4	5,5	6,2
1_D_min	-22,2	-296,3	85,2
1_D_max	-18,4	-246,8	71,7
2_D_min	-13,2	-177,6	48,7
2_D_max	-17,8	-223,1	-33,8
3_D_min	-4,1	-54,3	8,8
3_D_max	-27,9	-358,1	5,8
4_D_min	-12,4	-167,0	48,2
4_D_max	-27,4	-352,4	-9,1
5_D_min	-12,4	-167,0	48,2
5_D_max	-14,5	-188,2	11,1
6_D_min	-12,4	-167,0	48,2
6_D_max	-13,7	-186,2	18,2
7_D_min	-12,4	-167,0	48,2
7_D_max	-45,7	-471,3	-142,1
8_D_min	-11,3	-151,9	43,8
8_D_max	-45,7	-471,3	-142,1
9_D_min	-31,7	-423,0	55,2
9_D_max	-53,0	-846,9	-279,2
10_D_min	-31,7	-423,0	55,2
10_D_max	-53,0	-846,9	-279,2
11_D_min	-31,7	-423,0	55,2
11_D_max	-53,0	-846,9	-279,2
1_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
1_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_max	-27,3	-224,5	-213,8
8_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_max	-27,3	-224,5	-213,8
9_DofB4_min	-0,2	-2,8	-3,6
9_DofB4_max	-0,2	-2,8	-3,6
10_DofB4_min	-0,2	-2,8	-3,6
10_DofB4_max	-0,2	-2,8	-3,6
11_DofB4_min	-0,2	-2,8	-3,6
11_DofB4_max	-0,2	-2,8	-3,6

3.7.3 Bilanzierung und Darstellung der Neubaukonstruktionen

Die auf Basis von Literatur- und Herstellerangaben generierten Neubaukonstruktionen und die Summen ihrer lebenszyklusbasierten Grauen Energien und Emissionen sind im Anhang A.4 ab Seite 296 dargestellt. Die Tabellen für die opaken Bauteile und Fenster sind analog zu den Tabellen der Altbaukonstruktionen aufgegliedert, jedoch existiert nur eine Baualterklasse, und zwar die des Neubaus ab dem Jahr 2021. Die Materialeigenschaften der Neubaukonstruktionen werden öfter als bei den Altbaukonstruktionen in blauer Schrift dargestellt, da sie teilweise auf mehreren Datenquellen beruhen und für die Bilanzierung verschiedene Informationen manuell zusammengetragen werden. Die Identifizierung der

maßgebenden Baukonstruktionen für die minimal und maximal auftretenden Umweltwirkungen je Neubauteil erfolgt ebenfalls mit Hilfe einer Normierung.

Die daraus resultierende Zusammenfassung für den csv-Export ist in Tabelle 3-9 beispielhaft für ein dreifach verglastes Holzrahmenfenster („Wwood“) dargestellt.

Tabelle 3-9: Min. und max. Umweltwirkungen (GWP, PENRT und PET) eines 3-fach verglasten Holzrahmenfensters im Neubau (Wwood_nb) bezogen auf 1 m² Bauteilfläche; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	59,6	848,8	1090,6
nb_A1A3_max	29,3	1513,8	3354,8
nb_B4_50a_min	70,7	870,7	1119,8
nb_B4_50a_max	105,6	1476,7	3312,3
nb_C3_min	9,6	1,5	1,9
nb_C3_max	78,9	1,3	1,9
nb_C4_min	0,4	6,5	7,3
nb_C4_max	0,2	2,9	3,2
nb_D_min	-8,4	-117,6	-149,9
nb_D_max	-38,2	-570,9	-737,4
nb_DofB4_min	-8,5	-118,8	-151,5
nb_DofB4_max	-36,1	-543,5	-701,6

Die Variablennamen sind wieder eindeutig vergeben. „nb_“ weist die nachfolgenden Umweltwirkungen der Baualtersklasse „Neubau“ zu. Je LZPH können der Tabelle sowohl die minimalen als auch maximalen Werte für GWP, PENRT und PET entnommen werden. Anhang A.7 ab Seite 439 stellt für den Neubau alle bauteilspezifischen Ergebnistabellen dar.

3.7.4 Bilanzierung und Darstellung der Sanierungskonstruktionen

Die Zusammenfassung aller bilanzierten Sanierungskonstruktionen ist Anhang A.4 ab Seite 311 zu entnehmen. Tabelle 3-10 zeigt die Struktur anhand des Steildaches im beheizten Dachraum (PRO_h). In der Spalte der Literaturquellen ist der Name der Altbaukonstruktion genannt, die der jeweiligen Sanierungskonstruktion zugrunde liegt. Es handelt sich hierbei um den Steildachaufbau „PRO_1“ aus Tabelle 3-5 auf Seite 90.

Die Bilanzierung der Sanierungskonstruktionen erfolgt analog zu den Altbaukonstruktionen. Auch die farbliche Codierung folgt einem bestimmten Muster:

- Bestehende Bauteilschichten, die bei der Sanierung erhalten und für 50 Jahre weitergenutzt werden, sind schwarz dargestellt.
- Bestehende Bauteilschichten, die bei der Sanierung ausgebaut und entsorgt werden, bekommen eine rote Schriftfarbe.
- Bauteilschichten, die bei der Sanierung neu eingebaut und für 50 Jahre genutzt werden, sind grün eingefärbt.

Tabelle 3-10: Tabellenauszug aus den bilanzierten Sanierungskonstruktionen, Gesamtübersicht siehe Anhang A.4 ab Seite 311; eigene Darstellung

Bauteilname	Zeitraum	Zugehörige Baualtersklassen										Aufbau				Literaturquelle	GWP (A-C) [kg CO ₂ -Äq.]	PENRT (A-C) [MJ]	PET (A-C) [MJ]	GWP (A-D) [kg CO ₂ -Äq.]	PENRT (A-D) [MJ]	PET (A-D) [MJ]
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Materialbezeichnung	Stärke [cm]	Rohdichte [kg/m ³]							
PRO_h_1	bis 1918 ^x											Blecheindeckung (Edelstahl)	0,04	7900,00	-	Grundlage	82,5	506,5	233,8	32,9	-157,7	317,6
												Strukturierte Trennlage (Kunststoffaservlies)	0,16	81,25	-	Altbaukonstruktion						
												Schalung	2,40	484,51	-	PRO_1;						
												Konterlattung	0,44	484,51	-	minimale						
												Unterdeckbahn	0,02	262,00	-	Umweltwirkungen						
												Schalung	2,40	484,51	0,13	Sanierung;						
												Mineralwolle (Innenausbau)	10,33	26,25	0,04	Ausführung						
												Konstruktionsvollholz	1,67	529,00	0,13	unter						
												Mineralwolle (Innenausbau)	15,50	26,25	0,04	Verwendung						
												PE-Folie Dach	0,02	930,00	-	von						
												Reetdach	35,00	100,00	-	Herstellerran-						
												Luftschicht, stark belüftet	-	-	-	gaben (z.B.						
												Sparren	2,50	529,00	-	Bauder TOP						
												Schalung	2,40	484,51	0,14	VENT NSK)						
										Schilfrohrmatte	1,00	100,00	0,08									
PRO_h_2	bis 1918 ^x										Dachziegel	3,40	2180,00	-		128,0	1202,6	1972,9	73,6	359,3	1490,8	
											Lattung	0,38	484,51	-								
											Konterlattung	0,44	484,51	-								
											Holzfaserdämmplatte (DA)	2,20	160,00	0,05								
											Holzfaserdämmung (Innenausbau)	11,19	160,00	0,04	Grundlage							
											Brettschichtholz	1,81	507,11	0,13	Altbaukon-							
											Holzfaserdämmung (Innenausbau)	15,50	160,00	0,04	struktion							
											PE-Folie Dach	0,02	930,00	-	PRO_1;							
											Reetdach	35,00	100,00	-	maximale							
											Luftschicht, stark belüftet	-	-	-	Umweltwir-							
											Sparren	2,50	492,92	-	kungen							
											Schalung	2,40	484,51	0,14	Sanierung							
											Schilfrohrmatte	1,00	100,00	0,08								
											Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70								

Ansonsten sind die Sanierungskonstruktionen der Baualtersklasse zugeordnet, aus der die zugrunde liegende Altbaukonstruktion stammt. Fenster werden nicht saniert, sondern immer komplett ausgetauscht. Das heißt, dass bei der direkt anstehenden Entsorgung die baualtersklassenspezifischen Umweltwirkungen der alten Fenster herangezogen werden. Für die anschließende Herstellung, Nutzung und Entsorgung der Fenster nach 50 Jahren Nutzungsdauer sind die Umweltwirkungen der Neubaufenster relevant.

Wie in Kapitel 3.7.1 und 3.7.2 ab Seite 87 beschrieben, werden die für die baualtersklassen- und bauteilspezifischen Umweltwirkungen maßgebenden Sanierungskonstruktionen bestimmt. Auch die Darstellung der zusammenfassenden Tabelle für den csv-Export ist identisch (siehe hierzu Tabelle 3-8 auf Seite 92). Alle der Sanierung zugehörigen Bauteiltabellen sind Anhang A.8 ab Seite 450 zu entnehmen.

3.8 Diskussion der Methodik und Ergebnisse

3.8.1 Kritische Auseinandersetzung mit der Erhebungsmethodik

Die Bilanzierung der Altbau-, Neubau- und Sanierungskonstruktionen erfolgt auf Basis einer detaillierten Literatur- und Herstellerrecherche. Alle Konstruktionen, inklusive ihrer Gesamtergebnisse, sind im Anhang transparent und vollständig dargestellt. Die zugrunde liegenden Datenquellen und Annahmen können leicht nachvollzogen werden. Die Darstellung der minimalen und maximalen Umweltwirkungen (GWP, PENRT und PET) je Baualter, Bauteil und Lebenszyklusphase erlaubt es, die entwickelten ökologischen Kennwerte für verschiedene Betrachtungsszenarien, beginnend auf der Bauteilebene bis hin zur Stadtquartiers-ebene, heranzuziehen und die möglichen Spannweiten der Umweltwirkungen zu identifizieren. Durch die Wahl gemeinsamer Systemgrenzen und Datensätze können die Ergebnisse direkt miteinander verglichen werden.

Die verwendeten Literaturquellen sind jedoch nicht ausreichend, um für jede Baualterklasse typische Durchschnittswerte bilden zu können. Je nach Region und baugeschichtlicher Entwicklung können die bilanzierten Baukonstruktionen von denen, die in der Realität vorliegen, abweichen. Bei Anwendung der Daten ist zu prüfen, ob die hier ermittelten Konstruktionen das entsprechende Fallbeispiel repräsentieren können oder ob diese gegebenenfalls um weitere Konstruktionsaufbauten ergänzt werden müssen.

Ferner ist zu beachten, dass die bilanzierten Umweltwirkungen der Herstellungsphasen der Altbaukonstruktionen nicht die historischen Produktionsprozesse berücksichtigen können, da die ÖKOBAUDAT-Datensätze nur die aktuellen Produktionsprozesse einschließen. Daraus entwickelte Szenarien lassen demnach nur einen neubau-äquivalenten Vergleich zu. Das bedeutet, dass sie nur aussagen, wie hoch die Umweltwirkungen in der Gegenwart wären, wenn die Altbaukonstruktionen aktuell genauso errichtet werden würden.

Die vorliegende Arbeit präsentiert Standardaufbauten im Neubau auf Basis der statistischen Erhebung jährlicher Bautätigkeiten und aktueller Herstellerangaben (vgl. Kapitel 3.4 ab Seite 72). Seltene Bauweisen, wie z. B. der 3D-Druck mit Kompositbaustoffen oder begrünte Außenbauteile sind nicht Teil der Arbeit. Sie können derzeit wegen fehlender Datensätze in der ÖKOBAUDAT noch nicht ausreichend bilanziert und deshalb aktuell nicht dargestellt werden.

In den nachfolgenden Kapiteln werden anhand ausgewählter Kriterien die Grauen Energien und Emissionen der bilanzierten Altbau-, Neubau- und Sanierungskonstruktionen diskutiert, bevor sie in Kapitel 5 (vgl. ab Seite 137) für die Szenarienberechnung des Fallbeispiels herangezogen werden.

3.8.2 Aus der Entsorgung von Altbaukonstruktionen resultierende Umweltwirkungen

Aus den bilanzierten Baukonstruktionen lässt sich erarbeiten, wie viel $\text{kg CO}_2\text{-Äq./m}^2_{\text{Bauteil}}$ durchschnittlich beim Abriss und der Entsorgung von Gebäuden in den LZPH C3 und C4 entstehen. Die Definition des Begriffs „Bauteil“ kann dem Glossar (ab Seite XIII) entnommen werden. In Abbildung 3-11 ist die Ergebnisverteilung des GWP je Baualtersklasse dargestellt, wobei die Entsorgung aller Bauteile berücksichtigt wird.

Das GWP der Entsorgungsphasen kann je nach Baualtersklasse stark variieren und wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Zum einen spielen die verbauten Materialmassen eine Rolle, zum anderen die Art der Baumaterialien. Durch die Darstellung als Violin-Plot ist es möglich, neben der Spannweite der potentiellen Ergebnisse auch ihre Streuungsdichte aufzuzeigen.

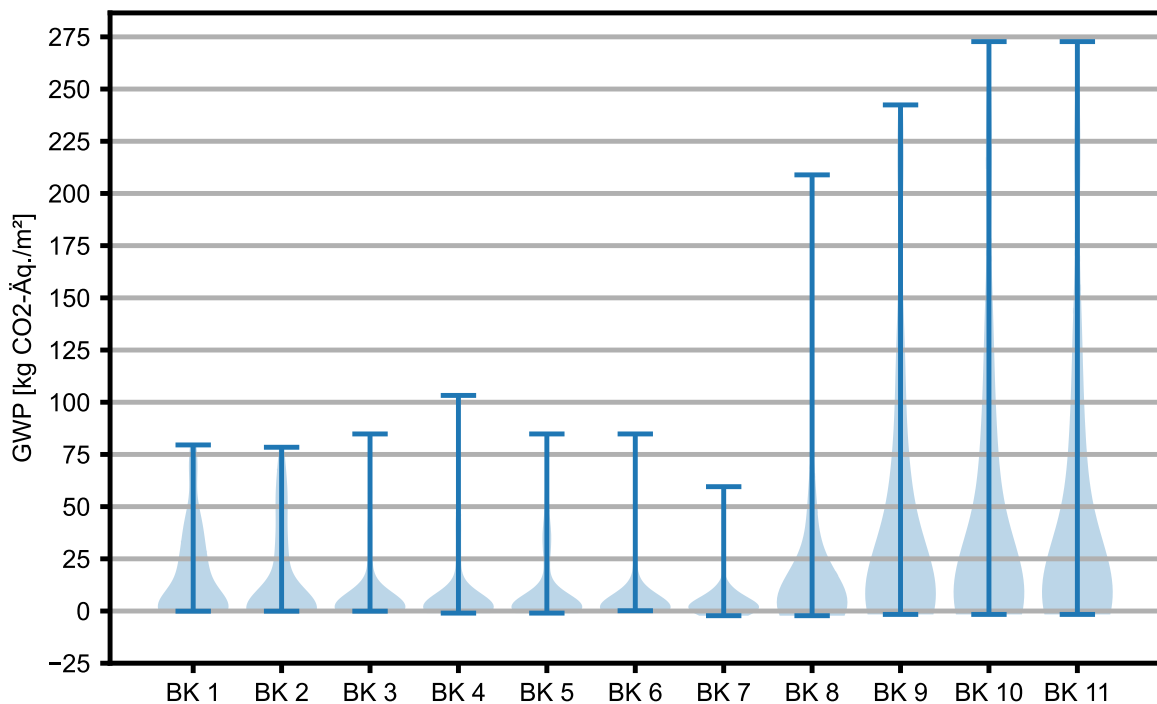


Abbildung 3-11: Verteilung des GWP je m² Bauteil und Baualtersklasse in den Entsorgungsphasen C3 und C4 (Summe); eigene Darstellung

Die Bauteile in BK 7 weisen die geringsten GWP-Werte für die LZPH C3 und C4 auf. Die Spannweite liegt hier zwischen -2,2 und 59,6 $\text{kg CO}_2\text{-Äq./m}^2_{\text{Bauteil}}$, wobei sich die Mehrheit der Werte im Bereich zwischen 0 und 13 $\text{kg CO}_2\text{-Äq./m}^2_{\text{Bauteil}}$ anordnet. Ein Einflussfaktor ist die ab BK 5 zunehmende massive Bauweise, die viel GWP in der Herstellung aber wenig GWP bei der Entsorgung verursacht. Gegenüber den nachfolgenden Baualtersklassen beschreibt die Literatur in BK 7 z. B. keine Holzbalkendecken oder Holzaußenwände. In BK 9 kann die Entsorgung einer Holzbalkendecke 235 $\text{kg CO}_2\text{-Äq./m}^2_{\text{Bauteil}}$ bedingen. Die maßgebenden Treiber beim GWP in den LZPH C3 und C4 sind in BK 10 und 11 die massiven Außenwände in Holzbauweise, die 272,8 $\text{kg CO}_2\text{-Äq./m}^2_{\text{Bauteil}}$ emittieren. Dabei sei jedoch

nochmals das Kohlenstoffspeicherungspotential der Holzkonstruktionen in der Herstellung erwähnt. Im genannten Fall werden zunächst 61 % ($167,0 \text{ kg CO}_2\text{-Äq./m}^2_{\text{Bauteil}}$) des bei der Entsorgung freiwerdenden GWP bei der Herstellung eingelagert.

Aus der Grafik wird ersichtlich, dass das GWP in den Entsorgungsphasen nicht zu vernachlässigen ist und dass deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Baualterklassen vorhanden sind, sowohl bei den Extrema als auch bei der Streuungsdichte.

Wie erwähnt, entfällt auf Baustoffe aus Holz ein nicht unwesentlicher Anteil, da durch ihre thermische Verwertung am EoL große Mengen an CO_2 freigesetzt werden. Jedoch können diese Emissionen teilweise durch eine nachhaltige Waldwirtschaft kompensiert werden. Es sollte auch überlegt werden, ob die thermische Verwertung von Holzbaustoffen am EoL auch zukünftig den Standardfall darstellt oder ob mit Hilfe einer Kaskadennutzung die Baustoffe auch nach dem Abriss der Baukonstruktionen in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden können. Vor diesem Hintergrund muss die Phase D mitbetrachtet werden. Die PENRT und PET sollte ebenfalls parallel analysiert werden, da dadurch Wechselwirkungen besser erkennbar sind.

3.8.3 Aus dem Neubau resultierende Umweltwirkungen

Die Umweltwirkungen von insgesamt 108 Neubaukonstruktionen je m^2 Bauteilfläche und Jahr bei einer Gebäudelebensdauer von insgesamt 50 Jahren sind in den beiden nachfolgenden Abbildungen dargestellt. Der jährliche Bezug wird deshalb gewählt, damit sich die Werte direkt mit denen anderer Gebäudelebensdauern vergleichen lassen. Zusätzlich erfolgt eine Gegenüberstellung der Umweltwirkungen mit und ohne Phase D. Je m^2 Bauteil fallen im Neubau jährlich zwischen 0,1 bis $6,4 \text{ kg CO}_2\text{-Äquivalent}$ an (siehe Abbildung 3-12). Werden die Wiederverwertungs- und Recyclingpotentiale berücksichtigt, sinkt der Wertebereich auf $-0,7$ bis $4,9 \text{ kg CO}_2\text{-Äquivalent}$. Werte unter Null bedeuten, dass durch die Wahl der Baustoffe und geeigneter Recyclingpotentiale über den Lebenszyklus hinweg bilanziell GWP eingespeichert werden kann.

Der Verteilung des GWP wird in Abbildung 3-13 die Verteilung der jährlichen Primärenergiebedarfe je m^2 für eine Gebäudelebensdauer von 50 Jahren gegenübergestellt. Die Angabe in Kilowattstunden (kWh) ist sinnvoll, wenn die Graue Energie der Gebäude später mit ihrem Betriebsenergiebedarf verglichen wird. Für die bilanzierten Neubaukonstruktionen ergeben sich ohne Phase D eine PENRT von 0,5 bis $21,3 \text{ kWh/m}^2_{\text{Bauteil}}$ und eine PET von 1,2 bis $37,1 \text{ kWh/m}^2_{\text{Bauteil}}$. Unter Berücksichtigung der Phase D kann die Spannweite der Primärenergiebedarfe auf $-3,5$ bis 17,2 bei der PENRT und auf 1,0 bis $29,1 \text{ kWh/m}^2_{\text{Bauteil}}$ reduziert werden. Aus beiden Abbildungen wird ersichtlich, dass der Großteil der Baukonstruktionen Umweltwirkungen im unteren Drittel der jeweiligen Wertebereiche verursacht. Daraus resultiert die Frage, welche Neubaukonstruktionen und Bauweisen als Treiber der Umweltwirkungen identifiziert werden können. Diese Frage wird im nachfolgenden Kapitel beantwortet.

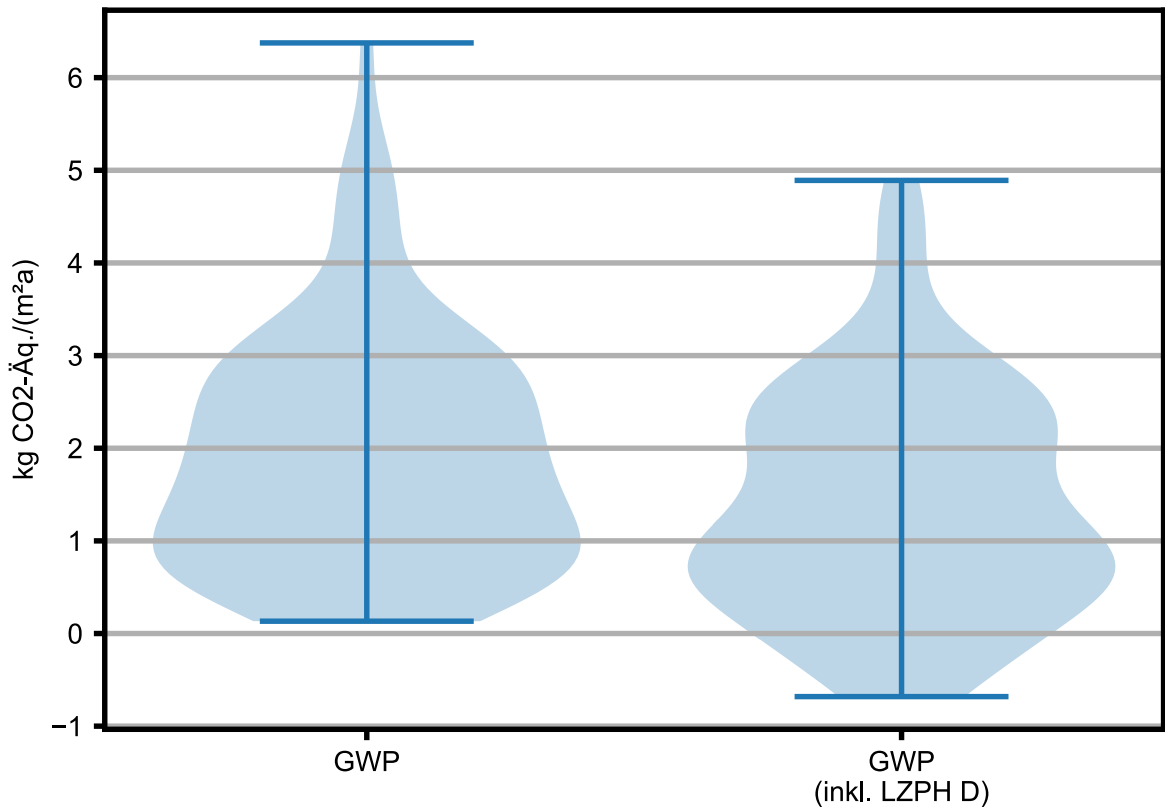


Abbildung 3-12: Jährliches GWP [kg CO₂-Äq.] mit und ohne Phase D für Neubaukonstruktionen je m² Bauteil und einer Gebäudelebensdauer von 50 Jahren; eigene Darstellung

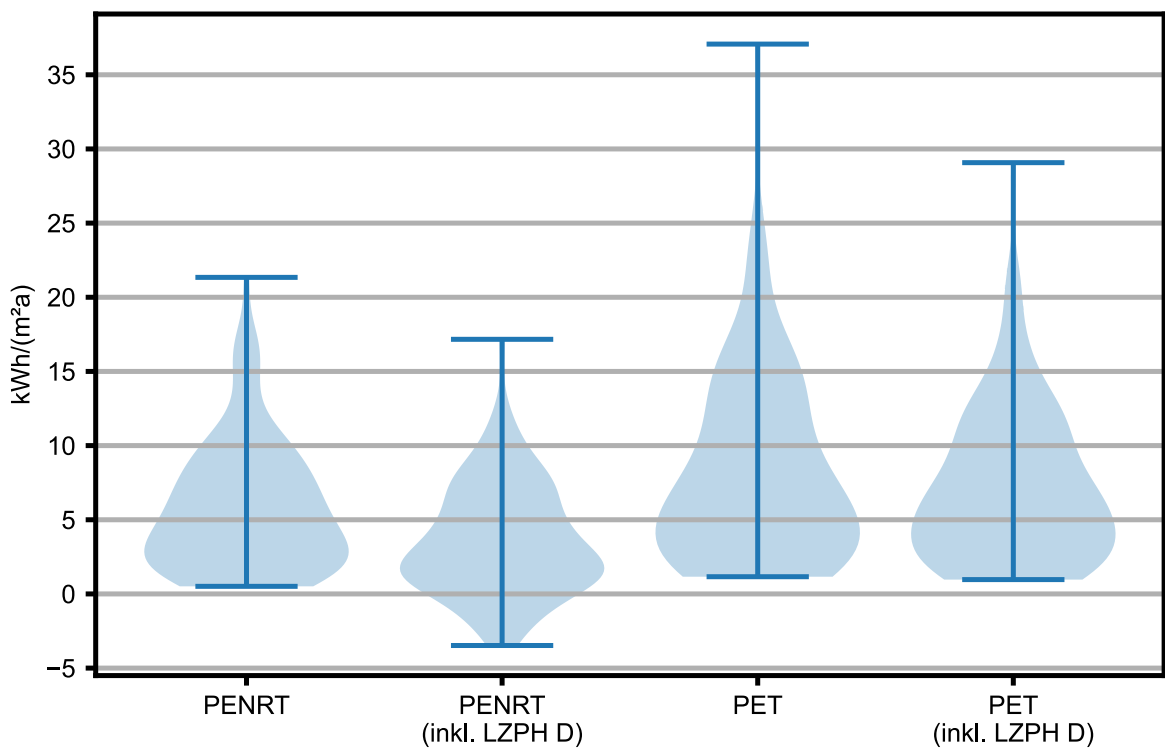


Abbildung 3-13: Jährliche PENRT und PET [kWh] mit und ohne Phase D für Neubaukonstruktionen je m² Bauteil und einer Gebäudelebensdauer von 50 Jahren; eigene Darstellung

3.8.4 Maßgebende Bauteile im Neubau – minimale und maximale Umweltwirkungen

Aus den vier berücksichtigten Bauweisen (Holzrahmen-, Holzmassiv-, Stahlbeton- und Mauerwerksbauweise) und den drei verschiedenen Fensterarten resultieren insgesamt 38 verschiedene Bauteile zu denen die Wertebereiche der drei Umweltwirkungen (GWP, PENRT und PET) ermittelt werden. Mit Hilfe einer Normierung – dabei werden die Ergebnisse für GWP, PENRT und PET mit und ohne Phase D berücksichtigt – können die Bauteile mit den geringsten und höchsten Umweltwirkungen identifiziert werden.

Die Fensterkonstruktionen treten deutlich hervor. Sowohl Holz- (Wwood), Aluminium- (Walu), als auch Kunststofffenster (Wplas) gehören zu den Bauteilen, die auf 1 m² Bauteilfläche gleichzeitig hohe Werte für GWP, PENRT und PET generieren. Letztere besitzen insgesamt die größten Umweltwirkungen je m² Bauteilfläche. Abbildung 3-14 zeigt dies am Beispiel des GWP, Abbildung 3-15 am Beispiel der PENRT.

Wenn das Kellergeschoss beheizt ist, besitzen Kellerwände (CW_h_mas und CW_h_rc) und Bodenplatte (BP_h) hohe Graue Emissionen und Energien. Auch ein massiv ausgeführtes Flachdach verfügt über hohe Graue Energien und Emissionen.

Demgegenüber besitzen Innenwände insgesamt geringe Umweltwirkungen, sowohl in der Holz- (IWwood) als auch Massivbauweise (IWmas). Grund dafür ist der einhergehend geringe Materialeinsatz von nichttragenden Innenwandkonstruktionen, die den unteren Wertebereich definieren. Auch Gebäudetrennwände weisen insgesamt geringe Umweltwirkungen auf. Dies lässt sich dadurch begründen, dass nur die halbe Bauteildicke in die Bilanzierung einfließt. Denn in diesem Fall teilen sich benachbarte Gebäude die Gebäudetrennwände.

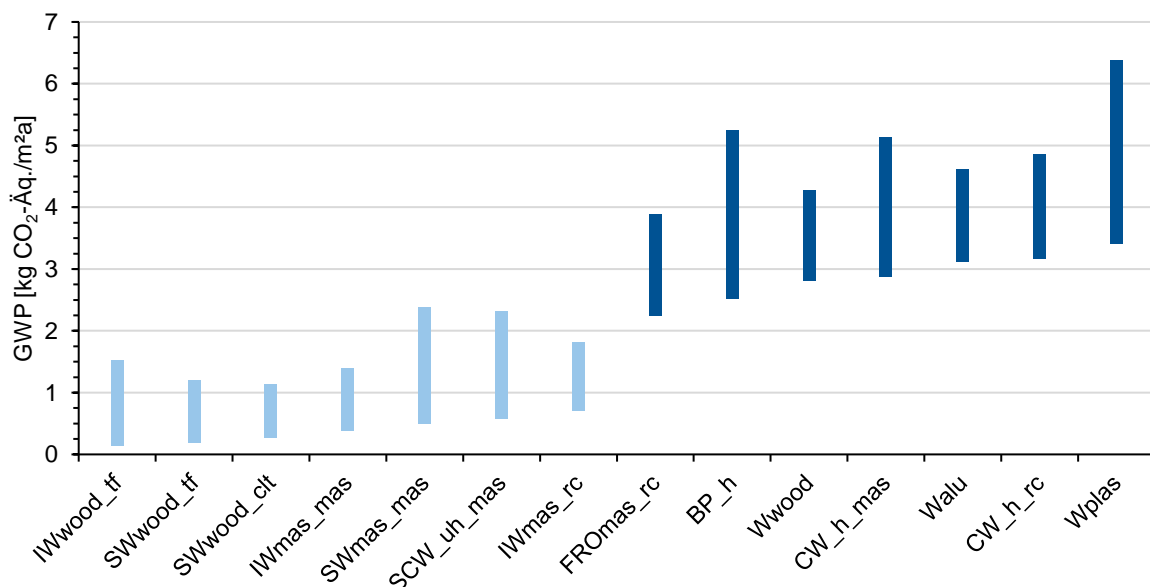


Abbildung 3-14: GWP der Neubaukonstruktionen [kg CO₂-Äq./m²a] – Darstellung der Wertebereiche maßgebender Bauteile (LZPH A1-C4, ohne D); eigene Darstellung

Aus diesen Beobachtungen resultiert die Notwendigkeit, die Umweltwirkungen von Perimeterbauteilen (Kelleraußenwände und Bodenplatte) und Fenstern in der Praxis zu optimieren.

Ob sie auch auf Gebäudeebene maßgebend für die Umweltwirkungen der Baukonstruktion verantwortlich sind, zeigt sich in Kapitel 5.2 ab Seite 142.

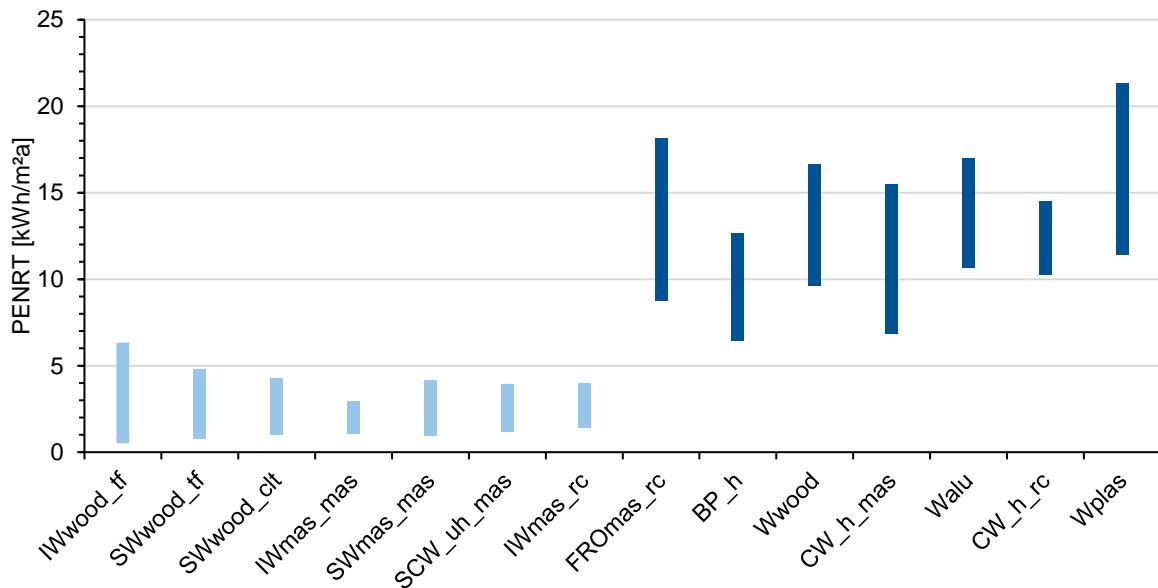


Abbildung 3-15: PENRT der Neubaukonstruktionen [kWh/m²a] – Darstellung der Wertebereiche maßgebender Bauteile (LZPH A1-C4, ohne D); eigene Darstellung

3.8.5 Aus der Sanierung resultierende Umweltwirkungen

Besonders beim Bauen im Bestand ist es wichtig zu wissen, welche Grauen Energien und Emissionen mit der Sanierung der Baukonstruktion einhergehen. Es gilt zu klären, ob sich gegenüber einem Ersatzneubau (Abriss und Neubau) ökologische Vorteile ergeben, die den ökonomischen Beweggründen entgegengesetzt werden können.

Nachfolgende Abbildungen stellen das baualtersklassenspezifische GWP und die PENRT von Sanierungskonstruktionen dar. Der Bezug auf die jährlichen Emissionen und Energien erlaubt den direkten Ergebnisvergleich mit Kapitel 3.8.3 (siehe Seite 98).

Abbildung 3-16 zeigt, dass in den Baualtersklassen BK 1 bis 5 die Sanierung auf den KfW-55-Standard und die Weiternutzung der Altbaukonstruktionen über 50 Jahre in der Regel zwischen 0,2 und ca. 3,0 kg CO₂-Äq./($m^2_{\text{Bauteil}} \times a$) verursachen. Die Renovierung der Bodenplatte (Ausbau Holzbalkenlage und Ersatz durch Stahlbetonplatte mit Dämmung) kann jedoch bis zu 6,4 kg CO₂-Äq./($m^2_{\text{Bauteil}} \times a$) emittieren (siehe BK 1 und BK 2). Die Sanierung und Weiternutzung der Baukonstruktionen aus der BK 6 verursachen tendenziell ein etwas geringeres GWP. Bei den Konstruktionen der nachfolgenden Baualtersklassen steigt das GWP jedoch wieder an.

Die Sanierung der Baualtersklassen BK 9 bis 11 ist erst in 20 bis 30 Jahren sinnvoll, da deren Baukonstruktionen bereits über einen guten bis sehr guten Dämmstandard verfügen und auch vergleichsweise hohe Umweltwirkungen mit der Sanierung einhergehen. Deutlich wird dies auch an der Ausdehnung der Streudichte gegenüber den anderen BK.

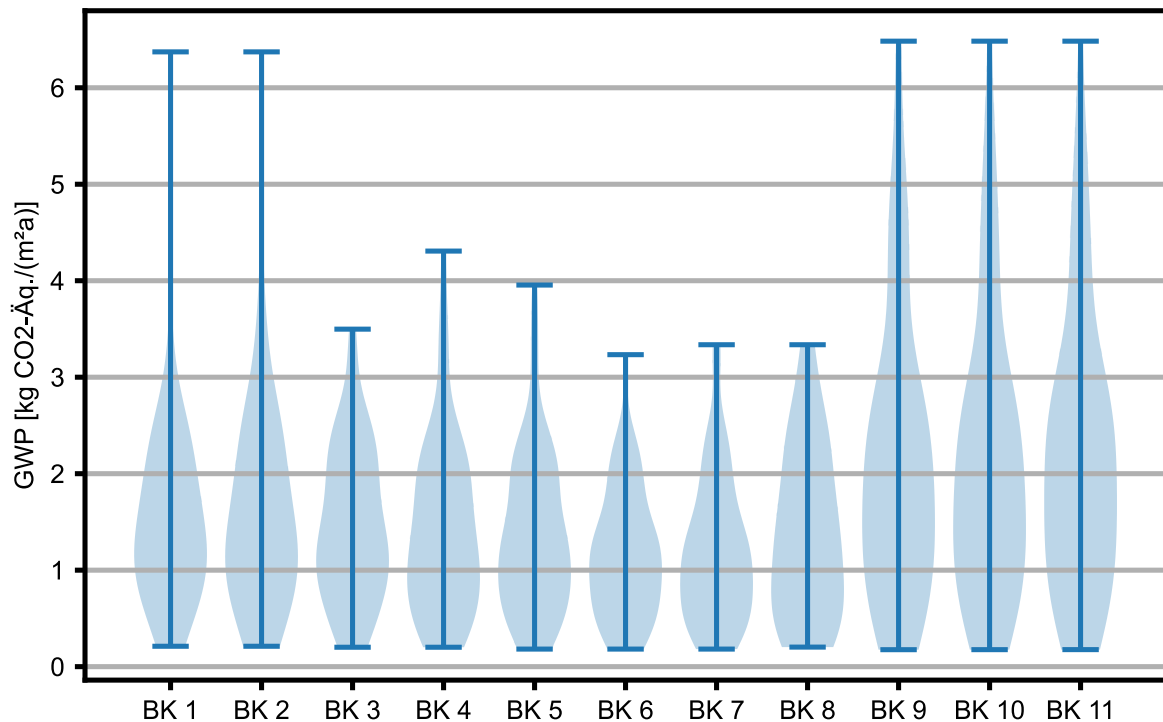


Abbildung 3-16: Jährliches GWP [kg CO₂-Äq./m²a] für Sanierungskonstruktionen je m² Bauteil (LZPH A1-C4, ohne D) und einer Gebäudelebensdauer von 50 Jahren; eigene Darstellung

Die baualtersklassenspezifische Verteilung der PENRT-Wertebereiche ist homogener als die des GWP (siehe Abbildung 3-17). Die Sanierung und Weiternutzung der Bestandskonstruktionen bewirken eine PENRT zwischen 0,2 und 15,5 kWh/(m²_{Bauteil}·a).

Bei der PET kommt der Einfluss der Primärenergie aus erneuerbaren Rohstoffen zum Tragen, da hier der Wertebereich im Negativen beginnt, d. h. bilanziell PET gutgeschrieben werden kann. Je nach sanierter Baualtersklasse und Einsatz an erneuerbaren Ressourcen reicht der Wertebereich beim PET von -10,4 bis 21,2 kWh/(m²_{Bauteil}·a).

Bei einem Vergleich der Abbildung 3-16 und Abbildung 3-17 mit Abbildung 3-12 bzw. Abbildung 3-13 auf Seite 99, wird ersichtlich, dass sich die Wertebereiche der Neubau- und Sanierungskonstruktionen beim GWP annähern. Unter Berücksichtigung der Streuungsdichte wird jedoch klar, dass das GWP der Neubaukonstruktionen durchschnittlich leicht höher liegt (Mittelwert Neubau: 1,9 kg CO₂-Äq./m²_{Bauteil}·a); Mittelwert Sanierung: 1,6 kg CO₂-Äq./m²_{Bauteil}·a). Auch die mit den Neubaukonstruktionen einhergehende PENRT liegt höher als bei den Sanierungskonstruktionen: der Mittelwert bei den Sanierungskonstruktionen ist 4,1 kWh/(m²_{Bauteil}·a), der Mittelwert bei den Neubaukonstruktionen ist 5,9 kWh/m²a. Zudem muss beim Ersatzneubau die Entsorgung der Altbaukonstruktionen berücksichtigt werden, die zusätzliche Graue Energien und Emissionen bedingt (vgl. Abbildung 3-11, Seite 97).

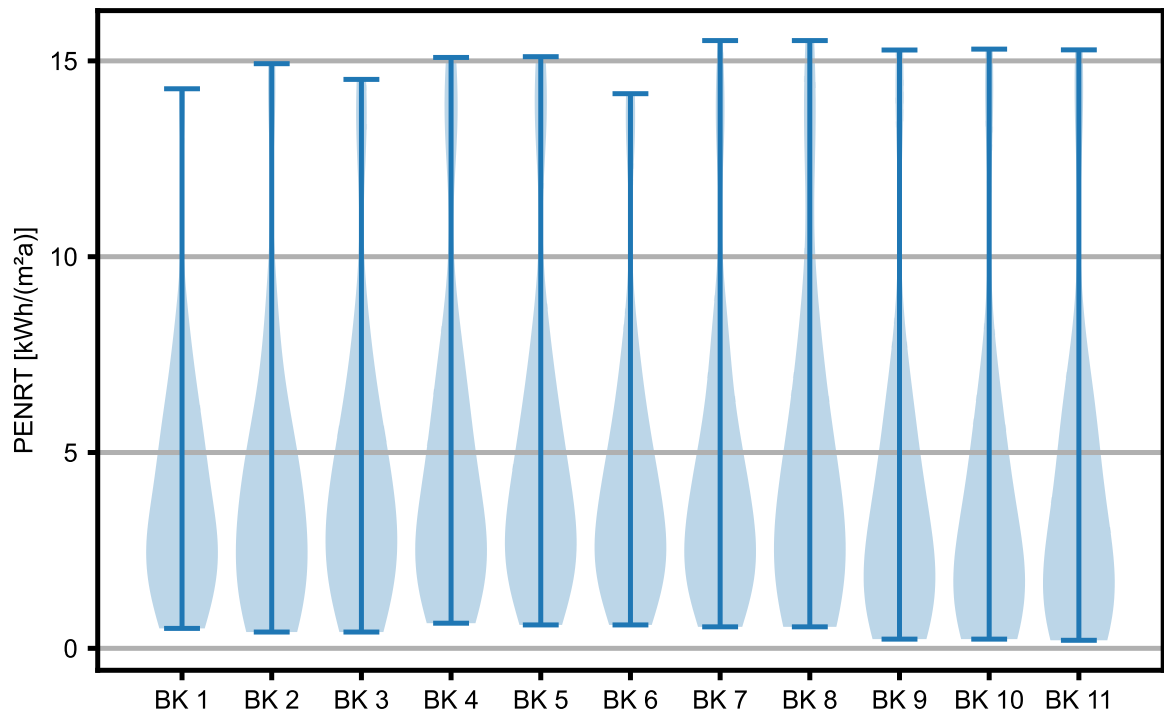


Abbildung 3-17: Jährliche PENRT [kWh] für Sanierungskonstruktionen je m² Bauteil und einer Gebäudelebensdauer von 50 Jahren (LZPH A1-C4, ohne D); eigene Darstellung

3.9 Empfehlungen zur Verwendung der Ergebnisse

Mit Hilfe der in diesem Kapitel beschriebenen Methodik wird auf Grundlage der Literatur und ergänzender Materialrecherchen eine deutschlandweit repräsentative und breite Datenbasis für die ökologische Bewertung von Alt-, Sanierungs- und Neubaukonstruktionen geschaffen. Diese kann von Planenden in frühen Planungsphasen herangezogen werden, um eine erste Einschätzung über die ökologische Qualität des Bauprojektes zu erhalten, wenn die genauen Bauausführungen noch nicht bekannt sind. Die Gebäudelebensdauer entspricht dem Standardfall von 50 Jahren. Sollen andere Gebäudelebensdauern betrachtet werden, müssen die Werte in der LZPH B4 entsprechend angepasst werden.

Mit Hilfe der im Anhang dargestellten Datengrundlagen und Einzelergebnisse kann die Ökobilanzierung transparent nachvollzogen und im Einzelfall angepasst werden. Dabei ist es möglich, die baualtersklassen- und bauweisenspezifischen Wertebereiche zu verwenden oder auf die Ergebnisse der Einzelkonstruktionen zurückzugreifen (vgl. Anhänge A.2 bis A.4 und A.6 bis A.8 ab Seite 232). Bei der Verwendung der einzelnen Werte wird empfohlen eingangs kurz ihre Repräsentativität zu überprüfen, da die Literatur nicht alle regionaltypischen Bauteilkonstruktionen erfasst hat und es im Einzelfall zu Abweichungen kommen kann (Gruhler et al., 2002; Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V., 2009b).

Die hier aufgezeigten Baukonstruktionen berücksichtigen zudem keine Ausbauschichten, wie den Fußbodenbelag oder Wand- und Deckenanstriche. Diese müssen im Einzelfall gesondert ermittelt werden. Ferner ist es möglich, die Umweltwirkungen der vorgestellten Baukonstruktionen auf Basis der neuesten ÖKOBAUDAT (aktuell Version 2023-I) oder anderer Datenbanken, wie der Ecoinvent, zu aktualisieren und weitere Umweltindikatoren zu berücksichtigen (BBSR, o. J.; Ecoinvent, o. J.).

Die Kennwerte können sowohl für manuelle Berechnungen als auch für automatisierte Kalkulationen bis zur Quartiers- und Stadtebene verwendet werden (siehe Kapitel 4 ab Seite 107 bzw. Kapitel 5 ab Seite 137).

Für die Durchführung automatisierter Lebenszyklusanalysen können die Ergebnistabellen in den Anhängen A.6 bis A.8 ab Seite 399 in SQL-Datenbanken übertragen werden. Dafür müssen die notwendigen Berechnungsschritte programmiert werden. Theoretisch können diese in jede geeignete Software übertragen werden (z. B. UMI 2.0, urbi+, SimStadt, usw.). In Kapitel 4, ab Seite 107, werden auf Grundlage der Daten und Strukturen von 3D-Stadtmodellen im CityGML-Format 2.0 Berechnungsschritte entwickelt, die mit Hilfe der erarbeiteten Kennwerte eine Ökobilanzierung auf Quartiersebene für verschiedene Entwicklungsszenarien – Sanierung mit und ohne Nachverdichtung oder Ersatzneubau – ermöglichen.

3.10 Zusammenfassung Kapitel 3

- Ziele des Kapitels sind die Entwicklung einer Methodik zur LCA von Alt-, Neubau- und Sanierungskonstruktionen sowie die Erarbeitung baualtersklassentypischer ökologischer Kennwerte für Baukonstruktionen von Wohngebäuden (Gebäudelebensdauer von 50 Jahren) mit einheitlichen Systemgrenzen.
- Als maßgebende Umweltindikatoren werden das GWP, PENRT und PET gewählt und einzeln ausgewiesen, sodass spätere Nutzer:innen je nach eigenen Präferenzen die Umweltwirkungen einzeln oder gemeinsam betrachten können.
- Unter Verwendung dieser deutschlandweit möglichst repräsentativen Kennwerte kann die ökologische Qualität einzelner Sanierungs- und Nachverdichtungsszenarien von Bestandsquartieren oder Freiflächen in frühen Planungsphasen bewertet werden, wenn die genauen Bauausführungen noch nicht bekannt sind.
- Im Rahmen des Kapitels wird die einheitliche Vorgehensweise bei der Bilanzierung von Alt-, Neubau- und Sanierungskonstruktionen sowie die Definition relevanter Systemgrenzen (räumlich und zeitlich) beschrieben. Die Wahl gemeinsamer Systemgrenzen und Datensätze erlauben, dass die Ergebnisse direkt miteinander verglichen werden können.
- Der Schichtenaufbau und die Umweltwirkungen der einzelnen Baukonstruktionen sind transparent nachzuvollziehen und können dem Anhang entnommen werden.
- Die Darstellung der minimalen und maximalen Umweltwirkungen je Baualter, Bauteil und Lebenszyklusphase erlaubt es, die entwickelten ökologischen Kennwerte für verschiedenste Betrachtungsszenarien, beginnend auf der Bauteilebene bis hin zur Stadtquartiersebene, heranzuziehen und die mögliche Spannweite der Umweltwirkungen zu identifizieren.
- Es können baualtersklassenspezifische Unterschiede bei der ökologischen Qualität der Baukonstruktionen herausgearbeitet werden. Beispielsweise verursacht die Entsorgung der Konstruktionen der BK 7 das geringste GWP. Ab BK 8 steigt das GWP in den LZPH C3 und C4 gegenüber den älteren Baualtersklassen deutlich an.
- Die Analyse der Neubaukonstruktionen zeigt, dass sie bei einer Gebäudelebensdauer von 50 Jahren je nach Bauteil ein jährliches GWP von 0,1 bis 6,4 kg CO₂-Äq., eine jährliche PENRT von 0,5 bis 21,3 und eine jährliche PET von 1,2 bis 37,1 kWh pro m² Bauteil verursachen können.
- Um vergleichen zu können, ob ein Ersatzneubau oder eine Sanierung des Bestandes ökologisch sinnvoller ist, müssen zukünftig auch die Umweltwirkungen der Entsorgung der Altbaukonstruktionen berücksichtigt werden. Danach verursacht die Sanierung der einzelnen Bauteile in der Gesamtheit deutlich weniger Umweltwirkungen (GWP: 0,2 bis 6,4 kg CO₂-Äq./m²_{Bauteil}; PENRT: 0,2 bis 15,5 kWh/m²_{Bauteil}; PET: -10,4 bis 21,2 kWh/m²_{Bauteil}).
- Die Anwendbarkeit und regionale Repräsentativität der Kennwerte ist im Einzelfall zu prüfen und ggf. durch weitere Baukonstruktionsbetrachtungen zu ergänzen, da in Bezug auf die Literaturgrundlagen regionaltypische Datenlücken bestehen können.

4 LCA mit Hilfe von 3D-Stadtmodellen

4.1 Methodik der LCA auf Quartiersebene

Die Vorgehensweise bei der LCA auf Quartiersebene erfolgt in einzelnen Arbeitsschritten, die in Abbildung 4-1 zunächst skizzenhaft aufgezeigt werden. Die detaillierten Beschreibungen sowie die Datengrundlagen der einzelnen Arbeitsschritte finden sich in den nachfolgenden Kapiteln.

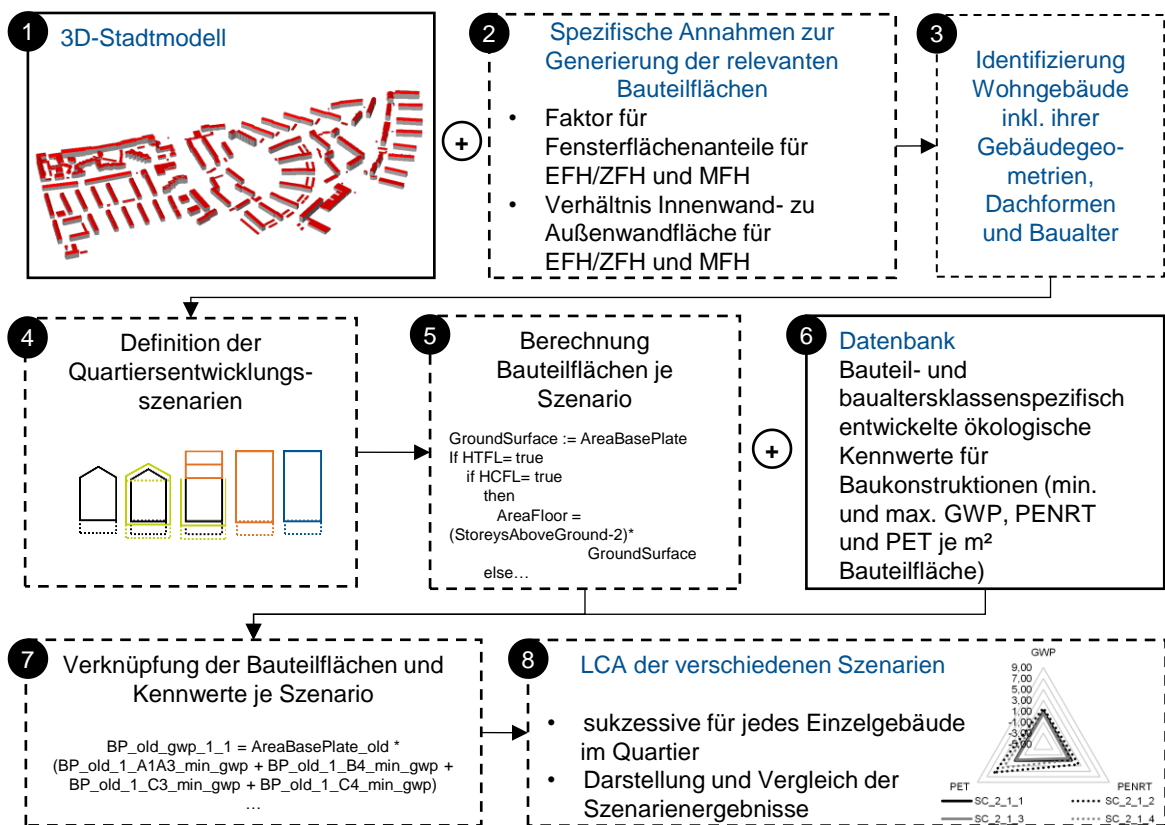


Abbildung 4-1: Skizzenhafte Darstellung der LCA-Methodik auf Quartiersebene; eigene Darstellung

Für die LCA auf großer Maßstabsebene wird eine Datenquelle benötigt, die gebäudespezifische Informationen zu Bauteilflächen oder Baualtern liefert. Dies gewährleisten 3D-Stadtmodelle im CityGML-Format, Version 2.0 (Schritt 1). Doch nicht alle, für die LCA notwendigen Gebäudedaten sind standardmäßig im 3D-Stadtmodell hinterlegt. Meistens enthalten sie im LoD2 nur die Gebäudegeometrie und die Gebäudehüllflächen. Daher ist es im Schritt 2 erforderlich, die vorhandenen Informationen manuell mit weiteren nutzerspezifischen Annahmen, wie der Definition des Fensterflächenanteils oder des Flächenverhältnisses der Innenwand zur Außenwand, zu ergänzen. Somit werden im Schritt 3 die Wohngebäude und ihre Gebäudegeometrien sowie Baualter identifiziert und die erforderlichen

innen- und außenliegenden Bauteilflächen berechnet. Nach der Definition der Quartiersentwicklungsszenarien (Schritt 4) enthält Schritt 5 je Szenario die erforderlichen und eigens entwickelten Berechnungslogiken. Die ebenfalls entwickelte Datenbank der bauteil- und baualtersklassenspezifischen ökologischen Kennwerte für Baukonstruktionen wird im Schritt 6 implementiert (vgl. hierzu auch Kapitel 3 ab Seite 53 sowie die Anhänge A.2 bis A.8 ab Seite 232). Im Schritt 7 erfolgt je Szenario und Einzelgebäude im Quartier die Verknüpfung der Bauteilflächen und der Kennwerte. Die LCA der vorhandenen Quartiersentwicklungsszenarien wird im Schritt 8 gebäudespezifisch durchgeführt. Dies erlaubt eine iterative Berechnung und Ergebnisauswertung hin zur Quartiersebene entsprechend der von den Nutzenden definierten Forschungsfragen. Für die Gesamtquartiersbetrachtung werden die Gebäudeergebnisse final aufsummiert.

Die entwickelten Berechnungslogiken sind den Anhängen A.9 ab Seite 469 und A.10 ab Seite 488 zu entnehmen. Letztere stellen die Grundlage für eine softwarebasierte Umsetzung einer automatisierten LCA-Berechnung von Quartiersentwicklungsszenarien für ausgewählte digitale Stadtmodelle dar (siehe Kapitel 5 ab Seite 137). Am Ende des Kapitels erfolgt eine Diskussion über die Unsicherheiten der Gebäudeinformationen und die Visualisierungsmöglichkeiten der Ergebnisse.

4.2 3D-Stadtmodell – Datenstruktur und Gebäudeinformationen

Dreidimensionale Stadtmodelle ermöglichen die standortspezifische Analyse von verschiedenen Umweltaspekten. Verbreitet sind dabei beispielsweise Analysen zu Hochwasserproblematiken, Lärmausbreitungen oder Stadtklimaveränderungen. Aber auch zur Beantwortung der Fragen, welche ökologische Qualität Gebäude aufweisen oder wie sich ein neuer bzw. sanierter Gebäudekomplex ökologisch auswirken kann, sind georeferenzierte dreidimensionale Gebäudemodelle hilfreich. Denn Daten zu Umweltwirkungen sowie daraus resultierende Informationen und Handlungsempfehlungen sind besonders aussagekräftig, wenn auch ihr räumlicher Bezug und regionale Spezifika berücksichtigt werden können. Die Verwendung von 3D-Stadtmodellen ist nützlich, wenn mit Hilfe der Gebäudemodelle der aktuelle energetische und konstruktive Zustand des Gebäudebestandes oder verschiedene Entwicklungsszenarien abgebildet werden. (Kaltschmitt und Schebek, 2015, S. 63)

Um die LCA der definierten Quartiersentwicklungsszenarien durchführen zu können, benötigt man neben den baualtersklassen- und bauteilspezifischen ökologischen Kennwerten auch die entsprechenden Bauteilflächen. Diese werden auf Basis der in 3D-Stadtmodellen hinterlegten Gebäudeinformationen generiert.

Hierfür gilt es im ersten Schritt zu klären, welche Datenstrukturen zugrunde liegen. Die Strukturanalyse erfolgt auf Basis eines 3D-Stadtmodells aus dem Bundesland Bayern, das von Harter und Willenborg et al. (2020) entwickelt und im Forschungsprojekt „Grüne Stadt der Zukunft“ verwendet wurde (TU München - Lehrstuhl für Strategie und Management der Landschaftsplanung, o. J.). Dabei handelt es sich um eine digitale, dreidimensionale Darstellung eines Münchner Bestandsquartiers. Das Gebäudemodell umfasst 181 Wohngebäude und wird in Kapitel 5 ab Seite 137 als Fallbeispiel herangezogen. Das 3D-Stadtmodell wurde vom Bayerischen Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung (LfDBV) zur Verfügung gestellt (LfDBV Bayern, o. J.b). Die Modelle mit ihren Standarddachformen im LoD2 sind mit dem amtlichen Liegenschaftskatastersystem (ALKIS®) konform (LfDBV Bayern, o. J.a).

Nachfolgend wird jedoch zuerst die grundlegende Datenstruktur der Gebäudemodelle im CityGML-Standard analysiert und geklärt, welche Attribute und gebäudespezifischen Daten aktuell flächendeckend vorliegen und für die Berechnungsmethode verwendet werden können und welche Attribute zukünftig ergänzt werden müssen.

Tabelle 4-1 zeigt die Attribute, die die Gebäudemodelle im CityGML-Format (Version 2.0, LoD2) standardmäßig enthalten. Im CityGML-Format werden die Gebäude zusätzlich in Teilflächen untergliedert (siehe Nr. 19 bis 21 in Tabelle 4-1), die für die Bauteilflächenermittlung essenziell sind. Informationen in oranger Schrift können direkt für die LCA verwendet werden. Wird im Attribut die Bezeichnung „core“ angeführt, bedeutet dies, dass es zu den Basiskomponenten des Gebäudemodells gehört. Die Nennung von „bldg“ am Anfang des Attributes weist es der Klasse „Building“ zu (vgl. hierzu auch Abbildung 2-11, Seite 35).

Wird dem Attribut „bldg:function“ der Wert 31001_100 zugeordnet, ist es per Definition eindeutig als Wohngebäude typisiert und kann in die LCA einbezogen werden.

Tabelle 4-1: Attributtabelle von LoD2 Gebäudemodellen im CityGML-Format (Version 2.0); eigene Darstellung nach Bayerische Vermessungsverwaltung (2018)

Nr.	Bezeichnung	CityGML Attribut
Für das gesamte Gebäude gültige Attribute		
1	Bundesweit gültiger CityGML-Objektindikator	bldg:Building gml:id
2	Objektidentifikator in der Gebäudedatenbank	core:externalReference
3	Objektidentifikator der ALKIS-Objektart (AX-Gebäude)	core:externalReference
4	Gebäudefunktion	bldg:function
5	Lagebezeichnung oder Straßenname mit Hausnummer	bldg:adress
6	Anzahl der oberirdischen Geschosse	bldg:storeysAboveGround
7	Dachform	bldg:roofType
8	Ableitungsdatum	core:creationDate
9	Datum der letzten Überprüfung der Gebäude mit dem Liegenschaftskataster	StandLK
10	Gemeindeschlüssel	Gemeindeschlüssel
11	Datenquelle Dachhöhe	DatenquelleDachhöhe
12	Datenquelle Lage	DatenquelleLage
13	Datenquelle Bodenhöhe	DatenquelleBodenhoehe
14	Höhe des tiefsten Gebäudepunktes über NN, abgeleitet aus dem verwendeten DGM	HoeheGrund
15	Höhe des Daches über NN	HoeheDach
16	Höhe der niedrigsten Dachtraufe über NN	Niedrigste TraufeDesGebäudes
17	Höhe des Gebäudes	Bldg:measuredHeight uom="urn:adv:uom:m"
18	Erzeugungsart der Dachformerkennung	Methode
Flächenbezogene Attribute der CityGML Surface-Objekte		
19	Flächentyp (Ground-, Wall- oder RoofSurface)	bldg:GroundSurface, bldg:WallSurface, bldg:RoofSurface
20	Objektidentifikator (UUID) der Fläche	<bldg:RoofSurface gml:id="DEBY_LOD2_ [GEBIB]_[UUID]_poly
21	Inhalt der Fläche	Flaeche
22	Dachorientierung (Richtungswinkel vom geringeren zum größeren Hochwert)	Dachorientierung
23	Dachneigung als Winkel von 0 - 90°	Dachneigung
24	Höchster Punkt der Fläche (relativ)	Z_MAX
25	Höchster Punkt der Fläche (über NN)	Z_MAX_AS_L
26	Niedrigster Punkt der Fläche (relativ)	Z_MIN
27	Niedrigster Punkt der Fläche (über NN)	Z_MIN_AS_L

Ebenfalls wichtig für die LCA mit Hilfe von 3D-Stadtmodellen ist die Kenntnis über die Dachform. Sie wird über das Attribut „bldg:roofType“ definiert. Der Wert 1000 ist für Flachdächer hinterlegt. Ist der Wert größer als 1000, ist die Dachform ein Steildach (z. B. Pultdach: 2100 oder Satteldach: 3100). Mit Hilfe von „bldg:storeysAboveGround“ kann die Anzahl der Geschosdecken identifiziert werden (vgl. Kapitel 4.3.4, Seite 115). Tabelle A. 88 auf Seite 469

(Anhang A.9) enthält alle Variablen und Attribute zu den geometrischen und energetischen Gebäudeeigenschaften, die für die entwickelten LCA-Berechnungslogiken erforderlich sind. Die Beschreibung erfolgt auf Englisch, damit sie international verständlich ist. Zur besseren Übersicht sind alle Attribute, die direkt aus dem Gebäudemodell stammen, farblich einheitlich markiert.

Die Hinterlegung der Attribute mit gebäudespezifischen Daten übernehmen die Landesvermessungsämter (z. B. Gebäudegeometrien) oder Katasterämter (z. B. Gebäudenutzungsarten). Die Synchronisierung der 3D-Stadtmodelle mit den Informationen der Katasterämter erlaubt die Identifizierung von Eigentumsgrenzen, was wiederum hilfreich ist, um Reihenhäuser und somit gemeinsame Gebäudetrennwände zu erkennen. (Harter, 2021, S. 32-34)

Um die Baualtersklassen für die im Gebäudemodell vorhandenen Wohngebäude ermitteln und so den energetischen und konstruktiven Ausgangszustand identifizieren zu können, müssen den Gebäuden im 3D-Modell ihre Baujahre zugeordnet werden. Diese Information ist nicht standardmäßig in den Stadtmodellen des LfDBV hinterlegt, kann aber ergänzt werden. So konnte das Stadtmodell von Harter und Willenborg et al. (2020) mit Hilfe des Referats für Stadtplanung und Bauordnung der Landeshauptstadt München (LHM) durch die Baujahre vervollständigt werden (Landeshauptstadt München, o. J.). Die Zuordnung der Baujahre zu den vorliegenden Gebäuden erfolgte durch die geometrische Verschneidung der Gebäudegrundflächen („bldg:GroundSurface“) und den Koordinaten der Gebäude mit statistischen Werten, die als Attribute angefügt sind. Die flächendeckende Erweiterung der CityGML-Gebäudemodelle um die Baujahre ist anzustreben. Nur so sind die Modelle konsistent und können für die hier vorgestellte Methode automatisiert benutzt werden.

Für das betrachtete Quartier wurde das korrekte Matching manuell überprüft. Für größere Stadtmodelle benötigt man eine automatisierte Validierungsmethodik. Wünschenswert wäre auch die zeitliche Erfassung von vorangegangenen Sanierungsmaßnahmen, die Einfluss auf die konstruktive und energetische Qualität des Bestands genommen haben. Wegen unzureichender Daten kann dies hier nicht durchgeführt werden.

Zusätzlich existieren sogenannte „Application Domain Extensions“ (ADE), um CityGML mit Datenstrukturen für weitere Anwendungsfelder zu erweitern (Gröger et al., o. J., S. 9). So baut die Energy Application Domain Extension (Energy ADE) den CityGML-Standard um Datenstrukturen aus, mit deren Hilfe energierelevante Werte und Eigenschaften für Energiebedarfsberechnungen oder Solarpotentialanalysen auf Gebäude- und Quartiersebene durchgeführt werden können. Energy ADE ist demnach so ausgelegt, dass sie die Stadtmodelle, unabhängig vom LoD, um die Domäne „Energie“ ergänzt. Zentrales Ziel ist ein einheitliches und standardisiertes Datenmodell, das aber auch Erweiterungen zulässt. Derzeit benutzt und erweitert Energy ADE zwei Module der CityGML Basisstruktur: „CityGML_Core“ und „Building“. (Benner, 2018, S. 3)

Mailhac et al. (2018) verfolgen den Ansatz die Datenstrukturen so zu erweitern, dass LCA für Baukonstruktionen und deren Sanierungsstände auf Stadtebene durchgeführt werden können. Das „Material and Construction Module“ bietet verschiedene Klassen, welche Wände, Dächer, Decken und Fenster in ihren physikalischen Eigenschaften genauer beschreiben (Benner, 2018, S. 14). Im Zuge der weiteren Forschung ist zu prüfen, wie die in Kapitel 3.3 bis 3.5 (ab Seite 59) ermittelten repräsentativen Baukonstruktionseigenschaften in die Energy ADE implementiert werden können und ob die vorhandene Datenstruktur so erweitert werden kann, dass auch die ökologischen Eigenschaften der Bauteile (wie z. B. GWP je m² Bauteil) hinterlegt werden können. Bis dies möglich ist, können die generierten ökologischen Kennwerte als SQL-Datenbanken integriert werden, um für LCA auf Quartiersebene zur Verfügung zu stehen.

4.3 Nutzerspezifische Annahmen zur Bauteilflächengenerierung

Der CityGML 2.0-Standard beinhaltet im LoD2 primär Informationen über die Gebäudehüllfläche, inklusive der Dachformen. Mit der Version 3.0 wird das LoD-Konzept überarbeitet. Danach können im LoD2 auch innenliegende Bauteile abgebildet werden. (Kutzner et al., 2020)

Da sich die 3D-Stadtmodelle des LfDBV noch auf den LoD2 des CityGML 2.0-Standards beziehen, müssen die Flächen der Innenwände, Geschossdecken, Fenster und Fundamente bis zu einer flächendeckenden Ergänzung der Gebäudemodelle um diese Informationen durch nutzerspezifische Annahmen generiert werden. Eine Möglichkeit ist die Ermittlung der fehlenden Bauteilflächen über Flächenverhältnisse. Mit Hilfe dieser zusätzlichen Informationen stehen anschließend alle Grundlagen zur Verfügung, um die Quartiersentwicklungsszenarien (siehe Kapitel 4.4 ab Seite 117) berechnen zu können.

4.3.1 Fensterflächen

Das 3D-Stadtmodell im LoD2 weist keine Fensterflächen aus. Diese sind ein Teil des Attributs „bldg:WallSurface“. Deshalb muss ein Fensterflächenanteil (FFA) bestimmt werden, der von der vorhandenen Außenwandfläche abzuziehen ist. Hier ist es sinnvoll den FFA projektspezifisch zu ermitteln, um die Realität genauer abbilden zu können. Denn die Fensterflächen können sich je Szenario und definiertem Wohngebäudetyp – Ein-/Zweifamilienhäuser (EFH/ZFH) oder Mehrfamilienhäuser (MFH) – unterscheiden. Für die nachfolgenden Szenarien ergeben sie nach einer Flächenanalyse von Gruhler et al. (2002) die in Tabelle 4-2 dargestellten repräsentativen FFA für Bestandsgebäude. Bei den entwickelten Berechnungslogiken werden die identifizierten durchschnittlichen FFA hinterlegt. Bei EFH/ZFH liegt der FFA bei 12 %, bei MFH beträgt er 15 %. Diese Werte können aber jederzeit angepasst werden, um auf die individuellen Bedingungen im Quartier reagieren zu können (siehe hierzu auch Tabelle A. 88, Seite 469).

Tabelle 4-2: Durchschnittlicher Fensterflächenanteil bei Bestandsgebäuden; eigene Darstellung nach Gruhler et al. (2002)

Durchschnittlicher Fensterflächenanteil: m^2_{Fenster} ZU $m^2_{\text{Außenwand_über_GOK}}$

	Gesamt Faktor FFA [-]	Ein-/Zweifamilienhäuser Faktor FFA [-]	Mehrfamilienhäuser Faktor FFA [-]
Minimalwert	0,08	0,08	0,12
Maximalwert	0,20	0,17	0,20
Mittelwert	0,14	0,12	0,15

4.3.2 Innenwandflächen

Neben detaillierten Angaben zu den Fensterflächen nennt die Studie von Gruhler et al. (2002) auch die Außen- und Innenwandflächen der definierten Bestandsgebäude. Dies ermöglicht die Bildung eines Faktors, der das Verhältnis der Innenwand- zur Außenwandfläche wiedergibt (engl. interior wall to exterior wall, kurz: IWTEW). Auch hier ist eine Unterscheidung zwischen EFH/ZFH und MFH notwendig (siehe Tabelle 4-3 und Tabelle A. 88 ab Seite 469).

Tabelle 4-3: Durchschnittliches Flächenverhältnis von Innen- und Außenwänden; eigene Darstellung nach Gruhler et al. (2002)

Durchschnittliches Bauteilflächenverhältnis:

$m^2_{\text{Innenwand über und unter GOK}} \text{ ZU } m^2_{\text{Außenwand über und unter GOK}}$

	Ein-/Zweifamilienhäuser Faktor IWTEW [-]	Mehrfamilienhäuser Faktor IWTEW [-]
Minimalwert	0,39	0,85
Maximalwert	0,71	2,63
Mittelwert	0,54	1,34

4.3.3 Fundamentflächen

Gebäude älteren Baualters wurden in der Regel über Streifen- und Einzelfundamente gegründet. Die Plattengründung hat sich erst in jüngeren Baualtern etabliert. Da die 3D-Stadtmodelle flächendeckend die Grundflächen der Gebäude (Attribut: „bldg:GroundSurface“) ausweisen, können die Flächen der Streifen- und Einzelfundamente über einen Flächenfaktor generiert werden. Nach Auswertung der Gebäudesteckbriefe von Gruhler et al. (2002) ergibt sich baualtersklassenübergreifend ein durchschnittlicher Fundamentflächenanteil von 27 % bezogen auf die Gründungs- bzw. Bodenplattenfläche (engl. foundation to base plate, kurz: FTBP). Der maximale Wert liegt bei 59 % (MFH in BK 1) und der minimale bei 0 % (MFH in BK 6-7). Da die Anzahl der auswertbaren Gebäude auf 18 beschränkt ist und nicht in allen Baualtersklassen sowohl Einfamilien- bzw. Zweifamilienhäuser und Mehrfamilienhäuser vertreten sind, wird auf eine weitere Differenzierung verzichtet. Im Kontext der Quartiersbetrachtung wird somit die Annahme eines Durchschnittswertes von 27 % als sinnvoll erachtet.

Der Flächenfaktor FTBP von 0,27 wird für die Ermittlung der Fundamentflächen für alle Gebäude bis einschließlich der BK 8 verwendet. Danach (BK 9 bis BK 11 und Neubau) wird als standardmäßige Gründungsform die Plattengründung angenommen. Somit wird der Faktor FTBP auf Null gesetzt. Auch diese Annahme kann szenarien- und projektspezifisch von den Nutzenden angepasst werden.

4.3.4 Geschossdeckenflächen

Bei den Geschossdecken muss zwischen drei Typen unterschieden werden: oberste Geschossdecke, Geschossdecke und Kellerdecke. Die Nutzenden müssen eingangs entscheiden, ob bei der Durchführung der LCA für alle Gebäude ein beheiztes Dachgeschoss und/oder ein beheizter Keller angenommen wird oder nicht. Wenn der Keller oder das oberste Geschoss unbeheizt sind, weisen die angrenzenden Decken andere Merkmale als die übrigen Geschossdecken auf und benötigen eine eigene Definition. Ist das Dachgeschoss vor einer Sanierung unbeheizt, ist die Fläche der obersten Geschossdecke zu ermitteln. Ist es beheizt, so entfällt die Erfassung der obersten Geschossdecke (bzw. beträgt ihre Fläche 0 m²) und deren Fläche wird zu den restlichen Geschossdecken addiert. Ebenso gilt dies für die Kellerdecke. Ist der Keller beheizt, kann die Kellerdeckenfläche auf Null gesetzt werden. Ist der Keller unbeheizt, entspricht die Kellerdeckenfläche der Bodenplattenfläche („bldg:GroundSurface“). Die Anzahl der Geschossdecken innerhalb der wärmeübertragenden Umfassungsfläche ergibt sich durch Multiplikation der Anzahl der Geschosse mit der Grundfläche des Gebäudes. Je nach Szenario ist hier die Fläche der Kellerdecke bzw. der obersten Geschossdecke abzuziehen. Mit Hilfe der Berechnungslogiken können die jeweiligen Deckenflächen szenarienspezifisch automatisiert berechnet werden, sobald die Nutzenden die maßgebenden Beheizungssituationen für den Bestand, die Sanierung oder den Neubau festgelegt haben. Die genauen Berechnungsschritte sind dem Anhang A.9 ab Seite 469 zu entnehmen.

4.3.5 Gebäudetrennwandflächen über GOK

Grenzen Gebäude unmittelbar aneinander an, besitzen sie gemeinsame Gebäudetrennwände. Diese können ein- oder zweischalig ausgeführt sein. Kaden (2014) hat dafür den „SharedWallSurface-Calculator“ entwickelt, mit dessen Hilfe die „bldg:WallSurface“ weiter in Außen- und Gebäudetrennwandflächen unterteilt werden kann.

Dieser Calculator wird verwendet, um die Gebäudetrennwände im Quartier der Fallstudie zu ermitteln. Es handelt sich um eine Java-Library, die auf das 3D-Stadtmodell angewendet wird. Dabei wird gewährleistet, dass die Ergebnisse ins Stadtmodell zurückgeschrieben werden und so die ermittelten Gebäudetrennwandflächen für weitere Berechnungen zur Verfügung stehen. (Harter, 2021; Kaden, 2014; TU München - Lehrstuhl für Strategie und Management der Landschaftsplanung, o. J.)

Somit wird bei den nachfolgenden Berechnungslogiken davon ausgegangen, dass aus den 3D-Stadtmodellen die Fläche der Gebäudetrennwände hervorgeht und dass das 3D-Stadtmodell vor Verwendung entsprechend bearbeitet werden muss. Nähere Informationen finden sich im Anhang A.9 ab Seite 469.

4.3.6 Anzahl der Geschosse unter GOK

Die flächendeckend vorhandenen 3D-Stadtmodelle des LfDBV Bayern enthalten lediglich die Gebäudegeometrien oberhalb der Schnittlinie der Erdoberfläche und der Außenfläche der Gebäude. Etwaige Unterkellerungen existieren im Modell zunächst nicht. 81,4 % aller bestehenden Wohngebäude sind jedoch unterkellert. Bei Altbauten liegt der Wert mit durchschnittlich 88,6 % sogar noch etwas höher. Besonders bei Mehrfamilienhäusern, die zu 93,1 % unterkellert sind, müssen die Kellerflächen berücksichtigt werden. (Cischinsky und Diefenbach, 2018)

Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, dass vorhandene Unterkellerungen ergänzt werden können. Nutzende der Methode können entscheiden, ob und wie viele Geschosse unterhalb der GOK („StoreysBelowGround“) vorhanden sind. Im Fallbeispiel (siehe Kapitel 5 ab Seite 137) wird ein Kellergeschoss angenommen (siehe auch Tabelle A. 88 ab Seite 469). Die Berechnungslogiken der Szenarien lassen jedoch die Wahl beliebig vieler Kellergeschosse zu. Je nach Szenario werden daraus die zusätzlichen Flächen für die Geschosdecken, Kelleraußenwände, Kellerinnenwände und Gebäudetrennwände im Kellergeschoss errechnet.

4.3.7 Kelleraußenwände und Gebäudetrennwände unter GOK

Die Flächen der Kellerwände („AreaCellarWall“) und der Gebäudetrennwände unter GOK („AreaSharedCellarWall“) definieren sich grundsätzlich durch die mittlere Kellergeschosshöhe. Diefenbach et al. (2010) weisen darauf hin, dass die Kellergeschosse unterschiedlich hoch sein können und in der Regel niedriger als Normalgeschosse sind. Im Altbau bis 1978 sind ca. 75,9 % der Kellergeschosse so hoch, dass eine Person mit 1,80 m Körpergröße gut aufrecht gehen kann. Da jedoch nähere Angaben zu den mittleren Kellergeschosshöhen in der Literatur fehlen, werden die Flächen der Kellerwände vereinfacht im Verhältnis zu den Geschosshöhen über GOK bestimmt. Für die Bestimmung der Kelleraußenwandflächen wird die Fläche der Außenwände über GOK („AreaExteriorWall“) durch die Anzahl der Geschosse über GOK geteilt („bldg:StoreysAboveGround“) und mit der Anzahl der Geschosse unter GOK („StoreysBelowGround“) multipliziert. Die Ermittlung der Gebäudetrennwandflächen unter GOK erfolgt analog in Abhängigkeit der Gebäudetrennwandflächen über GOK („AreaSharedWall“).

4.4 Wahl relevanter Quartiersentwicklungsszenarien

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Grüne Stadt der Zukunft“ wurden gemeinsam mit Planenden der Landeshauptstadt München relevante bauliche Entwicklungsszenarien für ein Münchner Bestandsquartier definiert, auf Basis derer im Rahmen der Dissertation eine Berechnungsmethodik entwickelt wird (TU München - Lehrstuhl für Strategie und Management der Landschaftsplanung, o. J.). Genauere Informationen zu diesem Quartier finden sich in Kapitel 5.1 ab Seite 137.

Abbildung 4-2 veranschaulicht die einzelnen Szenarien skizzenhaft. Bei jedem Szenario kann im Vorfeld gewählt werden, ob ein Kellergeschoss vorhanden ist und wenn ja, ob es beheizt wird. Auch beim Dachgeschoss (mit Steildach) kann entschieden werden, ob es temperiert ist oder nicht. Je nach Auswahl werden anschließend die wärmeübertragende Umfassungsfläche bzw. die energetisch zu sanierenden oder relevanten Gebäudekonstruktionen definiert. Die Auswahl gilt für jedes Gebäude im Quartier.

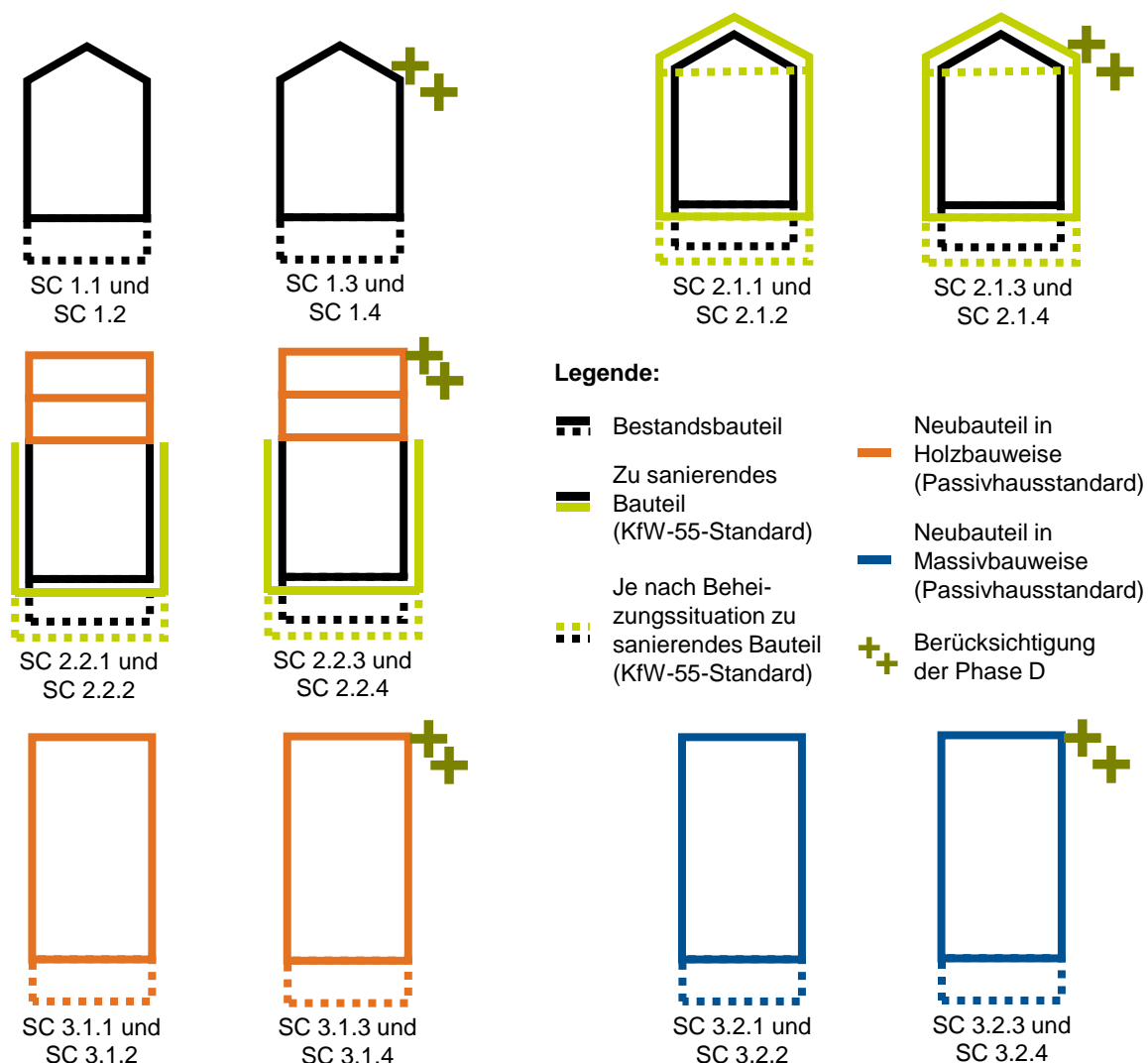


Abbildung 4-2: Skizzenhafte Darstellung der relevanten Quartiersentwicklungsszenarien; eigene Darstellung

4.4.1 Definition Szenario 1 – Status Quo

Szenario 1 beschreibt das **Bestandsquartier im aktuellen konstruktiven und energetischen Zustand**. Die Bestandsbauten in den Baualtersklassen 1 bis 11 werden unter Berücksichtigung der Herstellungsphasen A1 bis A3 (aufsummierter Wert), der Nutzungsphase B4 und den Entsorgungsphasen C3 und C4 bilanziert. Optional wird auch die Phase D mitbetrachtet. Die Umweltwirkungen und Ressourcenaufwendungen zurückliegender Nutzungsphasen sind ausgenommen. Bilanziert wird lediglich die Nutzung in den kommenden 50 Jahren, also bis ins Jahr 2070, mit den Standardaustauschzyklen nach BBSR (2017). Die für die jeweiligen Baumaterialien gewählten Austauschzyklen sind im Anhang A.5 ab Seite 376 hinterlegt. Es werden außen- und innenliegende Bauteilkonstruktionen des Gebäudes miteinbezogen. Das Szenario besteht aus insgesamt vier Unterszenarien:

- SC 1.1: LCA mit den minimalen Umweltwirkungen der berücksichtigten Bauteile in den LZPH A1 bis A3, B4, C3 und C4
- SC 1.2: LCA mit den maximalen Umweltwirkungen der berücksichtigten Bauteile in den LZPH A1 bis A3, B4, C3 und C4
- SC 1.3: LCA mit den minimalen Umweltwirkungen der berücksichtigten Bauteile in den LZPH A1 bis A3, B4, C3 und C4; zusätzliche Berücksichtigung der Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale aus Phase D
- SC 1.4: LCA mit den maximalen Umweltwirkungen der berücksichtigten Bauteile in den LZPH A1 bis A3, B4, C3 und C4; zusätzliche Berücksichtigung der Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale aus Phase D

4.4.2 Definition Szenario 2.1 – Sanierung mit gleichbleibender Gebädekubatur

Im Szenario 2.1 werden die **Bestandsbauten nach energetischer Sanierung im KfW-55-Standard** bilanziert (vgl. Tabelle A. 3, Seite 231). Das bedeutet, es werden alle Bauteile der wärmeübertragenden Gebäudehülle saniert. Dazu gehören die Außenwand (EW), die Fenster (W) und die Bodenplatte (BP). Auch ein vorhandenes Flachdach (FRO) wird immer energetisch saniert, da das oberste Geschoss stets als beheizt angenommen wird. Ansonsten werden je nach Wahl der Beheizungssituation (Dachgeschoss beheizt ja/nein; Kellergeschoss vorhanden und wenn ja, beheizt ja/nein) ebenfalls das Steildach (PRO) oder die oberste Geschossdecke (TFL) bzw. die Kellerdecke (CFL) oder die Kelleraußenwände (CW) sowie die Kellertrennwände (SCW) energetisch ertüchtigt. Die restlichen Bauteile – Geschossdecken (FL), Innenwände (IW), Fundamente (F) und Gebäudetrennwände über GOK (SW) – werden in ihrer Konstruktion nicht verändert. Für das Gebäude ist eine weitere Nutzungsdauer von 50 Jahren vorgesehen. Für die auszubauenden Bauteilschichten der Bestandskonstruktionen werden die Entsorgungsphasen C3 und C4 berücksichtigt. Dazu gehören Schichten, die zur Verbesserung der Dämmeigenschaft erneuert werden müssen und die, die dafür ausgebaut werden müssen (vgl. Beschreibung der

Einzelmaßnahmen in Kapitel 3.5.2 bis 3.5.4 ab Seite 78). Für die neu eingebauten Schichten werden die Herstellungs-, Nutzungs- und Entsorgungsphasen innerhalb von 50 Jahren berücksichtigt. Für die Bauteilschichten und Bauteile, die im Bestand noch weitere 50 Jahre erhalten bleiben, werden die Nutzungsphase und die Entsorgungsphasen bilanziert. Die Tragkonstruktion des Bestandes bleibt zu 100 % erhalten. Bauteilschichten, die energetisch nicht ertüchtigt oder dafür ausgebaut werden müssen, bleiben ebenfalls zu 100 % bestehen. Alternativ werden auch die Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale der Phase D ausgewiesen, sodass insgesamt vier Unterszenarien vorhanden sind:

- SC 2.1.1: LCA mit den minimalen Umweltwirkungen der berücksichtigten Bauteile in den LZPH A1 bis A3, B4, C3 und C4
- SC 2.1.2: LCA mit den maximalen Umweltwirkungen der berücksichtigten Bauteile in den LZPH A1 bis A3, B4, C3 und C4
- SC 2.1.3: LCA mit den minimalen Umweltwirkungen der berücksichtigten Bauteile in den LZPH A1 bis A3, B4, C3 und C4; zusätzliche Berücksichtigung der Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale aus Phase D
- SC 2.1.4: LCA mit den maximalen Umweltwirkungen der berücksichtigten Bauteile in den LZPH A1 bis A3, B4, C3 und C4; zusätzliche Berücksichtigung der Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale aus Phase D

4.4.3 Definition Szenario 2.2 – Sanierung mit Aufstockung in Holzrahmenbauweise

Beim Szenario 2.2 erfolgt ebenfalls die Bilanzierung der **Bestandsbauten nach energetischer Sanierung im KfW-55-Standard** (vgl. Tabelle A. 3, Seite 231). **Zusätzlich** wird das **Gebäude um zwei Stockwerke in Holzrahmenbauweise im Passivhausstandard** (siehe Tabelle A. 2, Seite 230) **erhöht**. Das vorhandene Dach (PRO oder FRO) bzw. die oberste Geschossdecke (TFL, falls es sich um ein PRO handelt, oder FL, falls es sich um ein FRO handelt) werden dazu komplett zurückgebaut. Das neue Dach wird immer als Flachdach ausgeführt und das neue oberste Geschoss wird beheizt. Ansonsten werden alle Bauteile der wärmeübertragenden Umfassungsfläche energetisch saniert (EW, W, BP und CFL oder CW und SCW). Die restlichen Bauteile (FL, IW, F und SW) werden in ihrer Konstruktion nicht verändert. Für das Gebäude ist eine weitere Nutzungsdauer von 50 Jahren vorgesehen. Für die auszubauenden Bauteilschichten der Bestandskonstruktionen werden die Entsorgungsphasen berücksichtigt. Hierzu zählen die Schichten, die zur Verbesserung der Dämmeigenschaft erneuert werden müssen und die, die dafür ausgebaut werden müssen (vgl. Beschreibung der Einzelmaßnahmen in Kapitel 3.5.2 bis 3.5.4 ab Seite 78). Für die neu eingebauten Schichten werden die Herstellungs-, Nutzungs- und Entsorgungsphasen innerhalb von 50 Jahren berücksichtigt. Für die Bauteilschichten und Bauteile, die im Bestand noch weitere 50 Jahre erhalten bleiben, werden die Nutzungsphase und die Entsorgungsphasen bilanziert. Die Tragkonstruktion des Bestandes bleibt zu 100 % erhalten. Bauteilschichten, die energetisch nicht ertüchtigt oder dafür ausgebaut werden müssen, bleiben

ebenfalls zu 100 % bestehen. Unter optionaler Berücksichtigung der Phase D ergeben sich folgende vier Szenarien:

- SC 2.2.1: LCA mit den minimalen Umweltwirkungen der berücksichtigten Bauteile in den LZPH A1 bis A3, B4, C3 und C4
- SC 2.2.2: LCA mit den maximalen Umweltwirkungen der berücksichtigten Bauteile in den LZPH A1 bis A3, B4, C3 und C4
- SC 2.2.3: LCA mit den minimalen Umweltwirkungen der berücksichtigten Bauteile in den LZPH A1 bis A3, B4, C3 und C4; zusätzliche Berücksichtigung der Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale aus Phase D
- SC 2.2.4: LCA mit den maximalen Umweltwirkungen der berücksichtigten Bauteile in den LZPH A1 bis A3, B4, C3 und C4; zusätzliche Berücksichtigung der Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale aus Phase D

4.4.4 Definition Szenario 3.1 – Abriss und Ersatzneubau in Holzbauweise

Das Szenario 3.1 behandelt den Fall, dass die **Bestandsgebäude komplett abgerissen und durch einen Neubau in Holzbauweise im Passivhausstandard** (siehe Tabelle A. 2, Seite 230) **ersetzt** werden. Die neuen Gebäude verfügen über die gleiche Grundfläche, werden jedoch um zwei Vollgeschosse erhöht und mit einem Flachdach versehen. Das oberste Geschoss wird beheizt. Es kann gewählt werden, ob ein Kellergeschoss vorhanden ist und wenn ja, ob dieses beheizt ist. Für das Bestandsgebäude werden die Entsorgungsphasen C3 und C4 berechnet. Für den Neubau werden die Umweltwirkungen der Herstellungs-, Nutzungs- und Entsorgungsphasen ermittelt. Als Gebäudelebensdauer des Neubaus werden 50 Jahre angesetzt. Insgesamt existieren vier Unterszenarien, die optional die Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale aus Phase D einbeziehen:

- SC 3.1.1: LCA mit den minimalen Umweltwirkungen der berücksichtigten Bauteile in den LZPH A1 bis A3, B4, C3 und C4
- SC 3.1.2: LCA mit den maximalen Umweltwirkungen der berücksichtigten Bauteile in den LZPH A1 bis A3, B4, C3 und C4
- SC 3.1.3: LCA mit den minimalen Umweltwirkungen der berücksichtigten Bauteile in den LZPH A1 bis A3, B4, C3 und C4; zusätzliche Berücksichtigung der Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale aus Phase D
- SC 3.1.4: LCA mit den maximalen Umweltwirkungen der berücksichtigten Bauteile in den LZPH A1 bis A3, B4, C3 und C4; zusätzliche Berücksichtigung der Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale aus Phase D

4.4.5 Definition Szenario 3.2 – Abriss und Ersatzneubau in Massivbauweise

Das Szenario 3.2 legt den **Komplettabriss der Bestandsgebäude** zugrunde und **ersetzt** diese **durch Neubauten in Massivbauweise im Passivhausstandard** (siehe Tabelle A. 2, Seite 230). Die neuen Gebäude verfügen über die gleiche Grundfläche,

werden jedoch um zwei Vollgeschosse erhöht und mit einem Flachdach versehen. Das oberste Geschoss wird beheizt. Es kann gewählt werden, ob ein Kellergeschoss vorhanden ist und wenn ja, ob dieses beheizt ist. Für das Bestandsgebäude werden die Entsorgungsphasen C3 und C4 berechnet. Für den Neubau werden die Umweltwirkungen der Herstellungs-, Nutzungs- und Entsorgungsphasen ermittelt. Als Gebäudelebensdauer des Neubaus werden 50 Jahre angesetzt. Optional werden die Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale der Phase D ausgewiesen, sodass insgesamt vier Unterszenarien vorhanden sind:

- SC 3.2.1: LCA mit den minimalen Umweltwirkungen der berücksichtigten Bauteile in den LZPH A1 bis A3, B4, C3 und C4
- SC 3.2.2: LCA mit den maximalen Umweltwirkungen der berücksichtigten Bauteile in den LZPH A1 bis A3, B4, C3 und C4
- SC 3.2.3: LCA mit den minimalen Umweltwirkungen der berücksichtigten Bauteile in den LZPH A1 bis A3, B4, C3 und C4; zusätzliche Berücksichtigung der Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale aus Phase D
- SC 3.2.4: LCA mit den maximalen Umweltwirkungen der berücksichtigten Bauteile in den LZPH A1 bis A3, B4, C3 und C4; zusätzliche Berücksichtigung der Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale aus Phase D

4.5 Berechnung der Bauteilflächen je Szenario

4.5.1 Allgemeine Vorgehensweise und Erläuterungen

Die Methode ist so konzipiert, dass szenarienspezifisch im ersten Schritt alle Bauteilflächen eines jeden Einzelgebäudes anhand der Informationen aus dem 3D-Stadtmodell (LoD2) berechnet werden. Danach erfolgt die Multiplikation der errechneten Bauteilflächen mit den bauteil- und baualtersklassenspezifischen Umweltwirkungen (Bauteilfläche A x Umweltwirkung B).

Für die Bauteilflächenberechnungen in den einzelnen Szenarien werden die Gebäudedaten aus dem 3D-Stadtmodell und weiterführende Annahmen benötigt (siehe Kapitel 4.2 und 4.3 ab Seite 109). Standardmäßig enthält das 3D-Stadtmodell bereits Angaben zu den Gebäudehüllflächen (siehe Tabelle 4-1 auf Seite 110). Diese Flächen können direkt für die Definition der Bodenplatten- oder Dachflächen herangezogen werden. Für die Ermittlung der weiteren Bauteilflächen sind die in Kapitel 4.3 ab Seite 113 beschriebenen Arbeitsschritte erforderlich.

Die definierten Quartiersentwicklungsszenarien benötigen eine zeitabhängige Differenzierung der Bauteilflächen. Die zeitlich differenzierten Bauteilflächen unterscheiden sich in ihrer Größe und werden unterschiedlichen Konstruktionsaufbauten zugeordnet. Beim Szenario 2.2 bedeutet dies, dass es bei der Sanierung mit Aufstockung eine Außenwandfläche vor der Sanierung (Zeitpunkt $t=0$) und eine Außenwandfläche nach der Sanierung (Zeitpunkt $t=1$) gibt. Die Außenwandfläche nach der Sanierung (AreaExteriorWall_V1) erweitert sich um zwei zusätzliche Stockwerke. Die Außenwandfläche vor der Sanierung (AreaExteriorWall_V0) kann mit der Sanierungsfläche (AreaExteriorWall_ren) gleichgesetzt werden. Die Differenz der Außenwandfläche nach der Sanierung minus der Außenwandfläche vor der Sanierung stellt dabei die neue Außenwandfläche der Aufstockung (AreaExteriorWall_nb) dar. Durch die Differenzierung zwischen diesen beiden Flächen können im nächsten Schritt die Kennwerte der Wandsanierung und die Kennwerte des Neubaus in Holzrahmenbauweise eindeutig zugeordnet werden. Daraus resultieren die Umweltwirkungen der Maßnahme, getrennt nach den Neubau- und Sanierungsflächen.

Die Wahl der beheizten Gebäudehülle (Dach beheizt? Ja/ Nein; Keller beheizt? Ja/Nein) beeinflusst ebenfalls die Bauteilflächen (siehe hierzu Kapitel 4.3.4 ab Seite 115) und die Umweltwirkungen der Baumaßnahmen (vgl. Kapitel 3.4.1 ab Seite 72 und Kapitel 3.5.2 ab Seite 78).

4.5.2 Berechnung und Definition der Basisdaten

Für die Berechnungslogiken der einzelnen Szenarien werden gemeinsame Basisdaten benötigt. Tabelle A. 88 (Anhang A.9 ab Seite 469) stellt die Variablen bzw. Attribute vor, die die geometrischen und energetischen Grundeigenschaften der Gebäude definieren.

Die Beschreibung der Variablen, Attribute und Berechnungsschritte erfolgt auf Englisch, da das CityGML-Format international standardisiert ist und die Schritte somit auch international nachvollzogen werden können. Jedoch wird bewusst auf die Verwendung einer Programmiersprache verzichtet, da die spätere Programmierung nicht Teil dieser Arbeit ist. Basisinformationen, die im 3D-Stadtmodell von Harter (2021) sowie Harter und Willenborg et al. (2020) als Attribute hinterlegt sind, sind in oranger Schrift markiert. Neu definierte Variablennamen werden in blauer Schrift dargestellt. Erläuterungen, die die Berechnungslogiken ergänzen sollen, sind kursiv und in Grün geschrieben. Nach der Definition der notwendigen Basisvariablen und -attribute folgen in Tabelle A. 89 ab Seite 473 die Berechnungslogiken der Basisdaten.

4.5.3 Bauteilflächenberechnung der Szenarien

Anhang A.9 beschreibt detailliert die Vorgehensweise bei der szenarienspezifischen Bauteilflächenberechnung:

- Szenario 1: siehe Tabelle A. 90 ab Seite 475
- Szenario 2.1: siehe Tabelle A. 91 ab Seite 477
- Szenario 2.2: siehe Tabelle A. 92 ab Seite 481
- Szenarien 3.1 und 3.2: siehe Tabelle A. 93 ab Seite 485

Die Berechnungslogiken sind analog zu den Beschreibungen in Kapitel 4.5.2 strukturiert.

4.6 LCA je Szenario – Verknüpfung der Bauteilflächen mit den Kennwerten

Nachdem im Anhang A.9 ab Seite 469 die Bauteilflächenberechnungen aller Szenarien definiert sind, kann die LCA durch die Multiplikation der Bauteilflächen mit den Umweltwirkungen der bilanzierten Altbau-, Neubau- und Sanierungskonstruktionen erfolgen. Dazu werden die csv-Tabellen aller bilanzierten Bauteilkonstruktionen benötigt (vgl. Kapitel 3.7 ab Seite 87). Der Export der ökologischen Kennwerte als csv-Dateien ermöglicht z. B. die Aufnahme der Bauteil-Tabellen in eine SQL-Datenbank (Structured Query Language), die mit Hilfe geeigneter Software (z.B. 3D City Database – kurz: 3DcityDB – oder 3DcityDB-Importer/Exporter) mit den Informationen des CityGML-Stadtmodells verknüpft und für weiterführende Berechnungen benutzt werden können. (Harter, 2021; TU München - Lehrstuhl für Geoinformatik, o. J.a, o. J.b)

Um die bauteilspezifischen ökologischen Kennwerte den entsprechenden Bauteilflächen zuordnen zu können, wird, wie in Kapitel 3.7.2 bzw. Tabelle 3-8 (Seite 92) aufgezeigt, ein eindeutiger Name verwendet. Für die Altbaukonstruktionen finden sich die Tabellen der baualtersspezifischen Umweltwirkungen in Anhang A.6 ab Seite 399, für die Neubaukonstruktionen in Anhang A.7 ab Seite 439 und für die Sanierungskonstruktionen in Anhang A.8 ab Seite 450 wieder.

Gemäß der Generierung der Bauteilflächen wird die LCA zunächst gebäudespezifisch durchgeführt, bevor das Quartiersergebnis final, getrennt nach GWP, PENRT und PET, aufsummiert wird. Die Berechnungslogiken werden am Beispiel der Baualtersklasse 1 und dem GWP aufgezeigt. Um den ganzen Gebäudebestand und die definierten Umweltwirkungen automatisiert berechnen zu können, ist sie für BK 2 bis 11 sowie für die PET und PENRT analog zu berechnen (vgl. Kommentare im Anhang).

Die ökologische Bilanzierung der Quartiersentwicklungsszenarien erfolgt durch die Multiplikation der Bauteilflächen mit den zugehörigen Umweltwirkungen. Die einzelnen Berechnungslogiken sind in Anhang A.10 zu finden:

- Szenario 1: siehe Tabelle A. 94 ab Seite 488
- Szenario 2.1: siehe Tabelle A. 95 ab Seite 492
- Szenario 2.2: siehe Tabelle A. 96 ab Seite 498
- Szenario 3.1: siehe Tabelle A. 97 ab Seite 505
- Szenario 3.2: siehe Tabelle A. 98 ab Seite 512

Die Struktur der Berechnungslogiken folgt erneut den Beschreibungen in Kapitel 4.5.2 (Seite 123).

4.7 Diskussion der Ergebnisse auf Quartiersebene

4.7.1 Unsicherheiten

Ein Ziel dieser Arbeit ist es, für den deutschen Wohngebäudebestand repräsentative ökologische Kennwerte zu entwickeln. Durch die Nutzung der Werte kann der minimale und maximale Grad der ökologischen Qualität von Baumaßnahmen abgebildet werden. Diese Herangehensweise ist in frühen Planungsphasen hilfreich, wenn noch wenig über die Baumaßnahme bekannt ist. Mit fortschreitender Planung können anfängliche Informationslücken im Einzelfall geschlossen werden. Wird die Methode in der Genehmigungs- oder Ausführungsplanung angewendet, müssen projektspezifische Daten einfließen, um die Unsicherheiten der Methode zu reduzieren.

So erlauben die bilanzierten Konstruktionen eine weitere Konkretisierung der Bauweise im Neubau. Hier kann zwischen der Stahlbeton-, Ziegel-, Kalksandstein- und Gasbetonbauweise gewählt werden. Im Holzbau kann entweder die Holzrahmen- oder Holzmassivbauweise näher betrachtet werden. Ist die Wahl auf konkrete Bauprodukte gefallen, bietet sich die Verwendung von bauproduktspezifischen Datensätzen, sogenannter EPDs an. Die Umweltwirkungen einzelner Bauprodukte sind in der Regel geringer als die der durchschnittlichen und generischen Datensätze, die hier primär verwendet werden. Zu berücksichtigen ist auch, dass sich die Umweltwirkungen einzelner Baumaterialien mit der ÖKOBAUDAT-Version stark verändern können. Für die hier vorliegende Ökobilanzierung werden die Datensätze der ÖKOBAUDAT, Version 2020-II verwendet. Sollen neue Produktions- oder Entsorgungsprozesse und deren Umweltwirkungen eingeschlossen werden, ist eine Aktualisierung der Datensätze mit Hilfe der neuen ÖKOBAUDAT-Version erforderlich. Die Methode ermöglicht diese Aktualisierung, indem für die Bilanzierung die Datensatzbezüge und Werte in der Material-Exceltabelle (siehe Anhang A.5 ab 376) manuell geändert werden.

Bei der Verwendung der Kennwerte der Altbaukonstruktionen ist darauf zu achten, dass vorangegangene Sanierungsmaßnahmen nicht berücksichtigt sind. Zwar finden sich z. B. bei Cischinsky und Diefenbach (2018) Sanierungsraten und -ausführungen zum deutschen Wohngebäudebestand, eine generelle Übertragung der Angaben auf die baualtersklassenspezifischen Ausführungen ist jedoch nicht möglich. Denn hier fehlt die Unterscheidung der Sanierungsmaßnahmen nach den gewählten Baualtersklassen. Es werden genauere Angaben benötigt, die zudem je nach Fallbeispiel stark voneinander abweichen können. Hier empfiehlt es sich, die fachlichen Kompetenzen der Planenden einfließen zu lassen. So kann z. B. im Einzelfall die Wahl des vorhandenen Baualters nicht vom Baujahr, sondern vom Sanierungsjahr abhängig gemacht werden.

Darüber hinaus beinhalten die bilanzierten Konstruktionsaufbauten keine Bodenbeläge, Wand- und Deckenbeschichtungen, die bei hohen Austauschzyklen einen signifikanten Einfluss auf das Gesamtergebnis nehmen können. Schneider-Marín et al. (2019)

bestätigen dies in einer Studie zu Bürogebäuden. Auch Balkone, Treppen und Türen werden nicht bilanziell erfasst.

Weitere Unsicherheiten entstehen durch die vereinfachte Ermittlung der Bauteilflächen. Durch das 3D-Stadtmodell selbst ergeben sich Maßungengenauigkeiten (vgl. Kapitel 2.5 ab Seite 33). Auch die Fensterflächenanteile oder das Flächenverhältnis von Außen- zu Innenwänden kann projektspezifisch stark variieren und die Endergebnisse entsprechend beeinflussen. Deshalb sieht die Methode die manuelle Anpassung dieser Flächenanteile durch die Nutzenden vor. Welche Differenzen zwischen der manuellen und automatisierten Flächenerhebung entstehen können, wird mit Hilfe des Fallbeispiels in Kapitel 5.3 ab Seite 163 aufgezeigt. Die Sensitivitätsanalyse in Kapitel 5.4 ab Seite 166 verdeutlicht den Streuungseinfluss der Eingangsparameter auf die Varianz des Gesamtergebnisses und gewisse Interaktionen. Diesen Unsicherheiten muss man sich bei der Anwendung der Methode bewusst werden.

Aus den beschriebenen Unsicherheiten resultiert die Empfehlung, die Methode nicht als Ersatz für eine detaillierte und gebäudespezifische LCA anzusehen, die standardmäßig bei fortgeschrittener Planung oder nach Beendigung der Bautätigkeiten unter Aufnahme der tatsächlichen Bauausführung durchgeführt wird. Vielmehr entfaltet sie ihre Potentiale im Szenarienvergleich in frühen Planungsphasen, wo richtungsweisende Entscheidungen mit Hilfe von fundierten und quantitativen Analysen getroffen werden müssen, die in zeitlich begrenztem Umfang durchgeführt werden können.

4.7.2 Ergebnisverarbeitung und Visualisierungsmöglichkeiten

Unter einer Visualisierung versteht man in der vorliegenden Arbeit die Sichtbarmachung der LCA-Ergebnisse in grafischer oder textlicher Form. Auch eine Kombination der beiden Formen ist möglich (siehe Glossar ab Seite XIII).

Hollberg et al. (2021) verdeutlichen, dass mit steigender Anwendung von LCA im Planungsprozess die Ergebnisvisualisierung immer wichtiger wird. Dabei müssen die LCA-Ergebnisse so aufbereitet werden, dass sie nicht nur LCA-Expert:innen – bzw. Planende mit LCA-Kenntnissen – sondern auch Entscheidungsträger:innen ohne detaillierte LCA-Kenntnisse verstehen (z. B. Bauherr:innen oder Bewohner:innen). Nur so können im integrativen Planungsprozess Entscheidungsträger:innen besser eingebunden werden und die ökologischen Vorteile von Bauausführungen kommuniziert werden. Gleichzeitig gibt es bisher keine einheitlichen Vorgaben, wie Ergebnisse darzustellen sind. Die Studie zeigt jedoch 27 verschiedene Möglichkeiten auf, die aktuell in der Forschung und Praxis Anwendung finden. Auch Visualisierungen von vorhandenen Softwaretools werden diskutiert.

In Ergänzung dazu zeigt Harter (2021), dass die Ergebnisse von LCA auf Quartiersebene durch den Export aus einer Softwarelösung verarbeitet werden können. Je nach Zielgruppe und dem Grad ihres Fachwissens, können die Umweltindikatoren einzeln oder kombiniert

in Tabellen, Grafiken oder indirekt über Kosten sowie Kompensationsmaßnahmen dargestellt werden. Zum anderen können die Ergebnisse auch direkt grafisch im 3D-Stadtmodell visualisiert werden.

In den nachfolgenden Kapiteln werden insgesamt vier der bei Hollberg et al. (2021) und Harter (2021) aufgeführten Visualisierungsmöglichkeiten vorgestellt. Hierbei wird deutlich, dass nicht alle Visualisierungen die drei gewählten Umweltkategorien gleichzeitig oder gleich gut darstellen können. Die vorgestellten Visualisierungsmöglichkeiten sind als Diskussionsgrundlage zu sehen, wie die LCA-Ergebnisse in einer späteren Softwarelösung visualisiert und optimal bei der jeweiligen Zielgruppe (Planende, Kommunen, Bevölkerung oder Politik) kommuniziert werden können.

4.7.2.1 Konventionelle Visualisierung der Umweltwirkungen

Neben der Ergebnisvisualisierung als Violin-Plots (siehe Abbildung 3-11 bis Abbildung 3-13 ab Seite 97) bieten Balkendiagramme die Möglichkeit, näher auf einzelne Umweltwirkungen einzugehen. Die konventionelle Visualisierung über Diagramme ist besonders für fachlich versierte Nutzer:innen geeignet, die daraus schnell Lösungsansätze ableiten können.

Das Gesamtergebnis kann bauteil- oder LZPH-bezogen dargestellt werden, wodurch eine schnelle Identifikation der maßgebenden Bauteile und Lebenszyklusphasen ermöglicht wird. Abbildung 4-3 zeigt ein beispielhaftes Balkendiagramm, mit dem die jährliche PET eines Szenarios ausgewiesen werden kann. Bauteile, deren Einfluss kleiner 1 % ist, werden hier zusammengefasst. Das Balkendiagramm kann je Szenario und Umweltwirkung erstellt werden. Bei der Programmierung ist darauf zu achten, dass die Einzelergebnisse je nach Zieldarstellung für den Export vorbereitet werden.

Für einen übersichtlichen Vergleich einzelner Szenarien und der gewählten Umweltindikatoren sind Netz- bzw. Spinnennetzdiagramme gut geeignet. Dabei werden die Einzelergebnisse der betrachteten Szenarien in das Verhältnis zu einer Basisvariante gesetzt. Das bedeutet, dass die Ergebnisse (GWP, PENRT und PET) der Basisvariante normiert werden (d. h. den Faktor 1 erhalten). So können verschiedene Szenarienergebnisse einfach gegenübergestellt und die ökologischen Vor- und Nachteile einer bestimmten Variante schnell identifiziert werden. Basierend auf der genannten Methode und den gewählten Umweltindikatoren illustriert Abbildung 4-4 eine geeignete Spinnennetzdarstellung für das Szenario 2.2 inklusive der gewählten Unterszenarien. Diese Darstellungsweise wird auch für die Auswertung des Fallbeispiels gewählt. Weitere Details dazu finden sich in Kapitel 5.5.1 ab Seite 171.

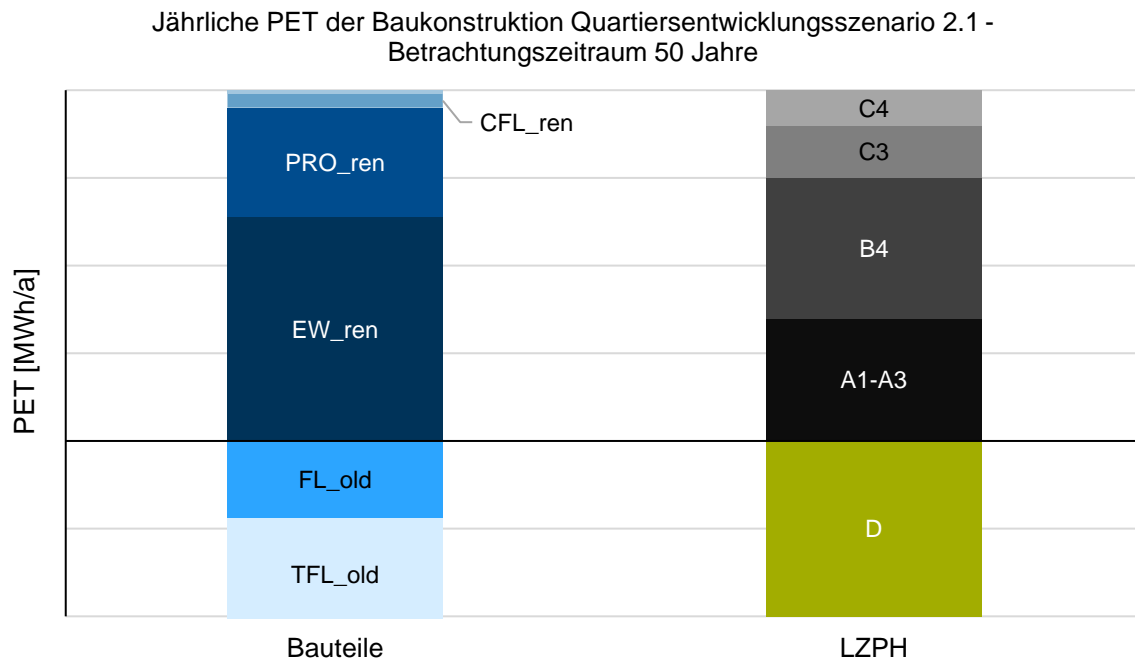


Abbildung 4-3: Beispielhafte Darstellung Balkendiagramm – jährliche PET der Baukonstruktion im untersuchten Quartier (links je Bauteil, rechts je LZPH); eigene Darstellung

**Szenario 2.2 – Sanierung mit
Aufstockung in
Holzrahmenbauweise**

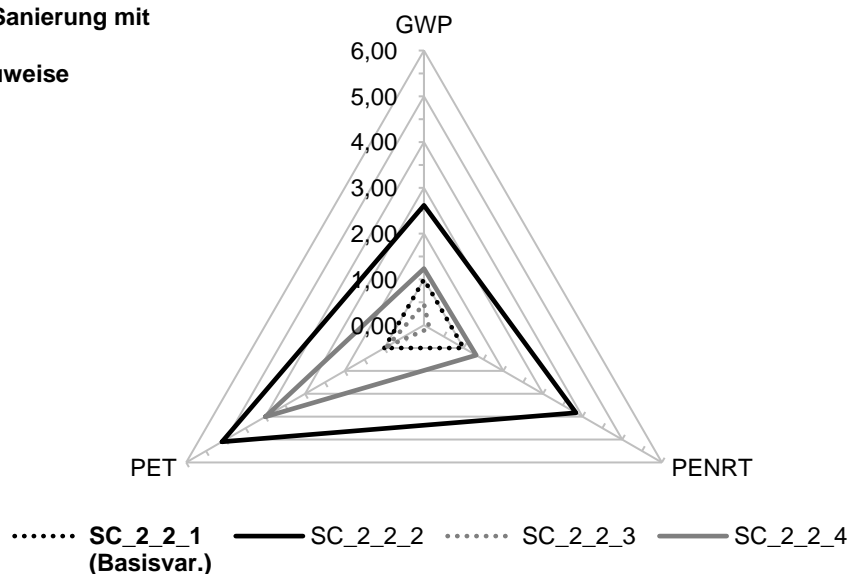


Abbildung 4-4: Beispielhafte Darstellung Spinnennetzdiagramm – Normierte Gegenüberstellung des GWP, der PET und PENRT verschiedener Szenarien; eigene Darstellung

4.7.2.2 Visualisierung der Umweltwirkungen über Umweltkosten

Die Diskussionen auf der UN-Klimakonferenz 2022 über internationale Ausgleichszahlungen aufgrund von Klimaschäden zeigen die hohe energie- und umweltpolitische Relevanz von Umweltkosten auf (tagesschau, 2022). Die Umrechnung der Umweltwirkungen in Umweltkosten ist eine transparente Methode, um gesellschaftliche und politische Entscheidungsträger:innen für mehr Klimaschutz zu sensibilisieren. Dabei existieren in der Literatur unterschiedliche Definitionen für Umweltkosten.

Es gibt Schadenskosten- oder Vermeidungskostenansätze. Nach Matthey und Bün­ger (2020) beziffert der Schadenskostenansatz im Klimabereich die Höhe der Schäden, die der Gesellschaft durch Treibhausgasemissionen und dem dadurch hervor­gehenden Klimawandel entstehen. Möchte die Gesellschaft den Klimawandel auf ein bestimmtes Ziel begrenzen, werden die dafür aufzubringenden Kosten als Vermeidungskosten bezeichnet.

Die Begriffe Umweltkosten oder Umweltschadenskosten werden synonym verwendet, jedoch werden je nach Quelle beispielsweise verschiedene Schadensarten oder zeitliche Systemgrenzen betrachtet. Schäden an Gesundheit und Eigentum und/oder erweiterte Umweltschäden, wie ökologische Schäden und Schäden an der Artenvielfalt, werden monetär bewertet. Darüber hinaus berücksichtigen manche Methoden lediglich reine Schadenskosten und andere zusätzlich Emissionsvermeidungskosten. Insgesamt geben die vorliegenden Schätzungen meist nur einen Teil der tatsächlichen Schäden wieder und stellen so Untergrenzen der tatsächlichen Auswirkungen dar. Dies muss bei der umweltpolitischen Bewertung beachtet werden. (Matthey und Bün­ger, 2019)

Ein wesentlicher Vorteil des monetären Vergleichs ist die Verwendung einer bekannten funktionalen Einheit. Er erlaubt auch eine einheitliche Darstellungsweise unterschiedlicher Umweltwirkungen. Ferner können die Umweltkosten den Investitions-, Nutzungs- und Entsorgungskosten (Lebenszykluskosten), beispielsweise mit Hilfe von Balkendiagrammen, gegenübergestellt werden.

Eine Studie von Schneider-Marin und Lang (2020) zeigt am Beispiel von sechs Bürogebäu­den, dass die Ausweisung von Umweltkosten eine nützliche Methode ist, um die ökologi­sche Qualität verschiedener Gebäude und deren Ausführungsoptionen zu vergleichen und die Ergebnisse transparent gegenüber den Entscheidungsträger:innen zu kommunizieren. Die Studie berücksichtigt die Umweltkosten fünf verschiedener Umweltindikatoren (GWP, AP, EP, ODP und POCP). Die monetäre Bewertung des GWP ist jedoch maßgebend, da es 80 bis 95 % der Umweltkosten verursacht.

Bei Fertigstellung der Studie wies das Umweltbundesamt die maximalen Umweltkosten für das GWP in Deutschland aus (Matthey und Bün­ger, 2019). Daneben verweisen Schnei­der-Marin und Lang (2020) auf verschiedene Modelle und Quellen, mit denen die Auswir­kungen von Umweltemissionen und -immissionen monetär bewertet werden können.

In Anlehnung an die Studie von Schneider-Marin und Lang (2020) wird zur monetären Vi­sualisierung des GWP von Baukonstruktionen in dieser Arbeit die „Methodenkonvention 3.1 zur Ermittlung von Umweltkosten“ des Umweltbundesamtes herangezogen (Matthey und Bün­ger, 2019, 2020). Denn sie entwickelt und verwendet einheitliche Maßstäbe für die fach­liche Bewertung von Umweltkosten in Deutschland. Ferner werden die Schätzungen, die dem Schadenskostenansatz zugrunde liegen, transparent dargestellt.

Matthey und Bün­ger (2020) bieten zwei Kostensätze an. So müssen 199 €₂₀₂₂/t CO₂-Äq. für das Basisjahr 2022 angesetzt werden, wenn die Wohlfahrt heutiger Generationen höher gewichtet werden soll als die der zukünftigen Generationen. 684 €₂₀₂₂/t CO₂-Äq. sind

für das Jahr 2022 anzusetzen, wenn beide gleich gewichtet werden sollen. Die Beträge wurden ausgehend vom Jahr 2020 (195 €/2020/t CO₂-Äq.) interpoliert und enthalten keine Preisbereinigung. Der Schadenskostenansatz von 195 €/2020/t CO₂-Äq. deckt sich mit den Empfehlungen des fünften Sachstandberichts des IPCC (182 €/2020/t CO₂) (Matthey und Bünger, 2020). Ebenfalls berücksichtigt dieser Ansatz u. a. das „Equity Weighting“. Dabei werden die nominalen Geldwerte der Schäden nach dem nationalen Durchschnittseinkommen des Landes gewichtet, in dem sie auftreten. So können die Klimafolgen der regional – z. B. in Deutschland – emittierten Treibhausgase global bewertet werden.

Allgemeingültige Schadenskosten für den Verbrauch von erneuerbarer und nicht erneuerbarer Primärenergie werden in der Literatur nicht aufgeführt. Matthey und Bünger (2020) zeigen lediglich Kosten pro kWh erzeugter Wärme oder erzeugten Stroms je Energiequelle auf, die für die Ermittlung der Umweltkosten in der Nutzungsphase verwendet werden können. Das Fehlen von allgemeingültigen Umweltkostensätzen für die in Baustoffen verwendete Primärenergie ist nachvollziehbar. Denn durch die Verwendung unterschiedlichster Energiequellen und wegen variierender Produktionsabläufe ist eine genaue Kostenermittlung komplex. Daher können die Umweltkosten für die hier entwickelten Quartiersentwicklungsszenarien unter Berücksichtigung der drei gewählten Indikatoren (GWP, PENRT und PET) nicht vollständig ausgewiesen werden. Hierzu stellt sich die Frage, inwiefern die Umweltkosten des GWP bereits die der Primärenergiebedarfe abdecken. Diese Frage benötigt jedoch weiteren Forschungsbedarf.

Alternativ zu den Umweltkosten des GWP weisen Matthey und Bünger (2020) Umweltkosten für einige Baustoffprodukte zum Stand 2016 aus, die herangezogen werden können. Tabelle 4-4 vergleicht für fünf gängige Baustoffe (Beton C30/37, Kalksandsteinziegel, gesägtes europäisches Weichholz, Armierungsstahl und Mineralwolldämmung) beispielhaft die minimal und maximal anzusetzenden Kosten für CO₂- und andere Treibhausgasemissionen (Basisjahr 2022) mit den gesamten Umweltkosten (Basisjahr 2016) je m³ Baustoff aus der Publikation. Wie zu erkennen ist, entstehen je nach Ansatz und Basisjahr verschieden große Wertebereiche. Mit Abstand besitzt der Armierungsstahl die höchsten Kosten pro m³ mit 4.317,5 €. Auffällig sind jedoch die Umweltkosten von Weichholz, die 4,3-fach höher liegen als die durch die Treibhausgase maximal ausgelösten Schadenskosten. Begründet wird dies durch den Einfluss der berücksichtigten Landnutzung bei Holzbaustoffen. Sie verursacht zwischen 40 und 75 % der Umweltkosten (Matthey und Bünger, 2020, S. 46).

Aus diesem Exkurs wird ersichtlich, wie groß derzeit die Spannweiten bei den Umweltkosten sind und wie wichtig eine transparente Darstellung der Hintergrundinformationen bei der Ergebniskommunikation ist. Je nach Literaturquelle, Basisjahr und Kostenansatz können die Werte stark voneinander abweichen. Auch Preisbereinigungen beeinflussen das Ergebnis. Die Ermittlung der Umweltschadenskosten sollte immer auf Basis mehrerer Indikatoren erfolgen, auch wenn das GWP die monetären Folgen maßgebend definiert. Die

Weiterentwicklung und Anwendung der Methode müssen gefördert werden. Wie Schneider-Marín (2022) zeigt, ist die monetäre Bewertung der Umweltwirkungen eine vielversprechende Methode, um im Planungsprozess die ökologischen und ökonomischen Vor- und Nachteile von Hochbauprojekten direkt gegenüberstellen zu können. Ferner vereinfacht sie den Vergleich unterschiedlicher Umweltwirkungen durch die einheitliche Ergebnisdarstellung mit Währungseinheiten.

Tabelle 4-4: Klima- und Umweltkosten ausgewählter Baustoffe für deren Herstellung (LZPH A1-A3) und Entsorgung (LZPH C3/C4); eigene Darstellung nach Matthey und Bünger (2020, S. 8, 47, 48)

Baustoff***	Minimale Klimakosten (verursacht durch Treibhausgase) [€ ₂₀₂₂ /m ³ _{Baustoff}]	Maximale Klimakosten (verursacht durch Treibhausgase) [€ ₂₀₂₂ /m ³ _{Baustoff}]	Minimale Umweltkosten gesamt [€ ₂₀₁₆ /m ³ _{Baustoff}]
Beton C30/37 (Annahme: 2400 kg/m ³)	44,8	153,9	55,2
Kalksandsteinziegel (Annahme: 1800 kg/m ³)*	49,7	170,7	81,0
Gesägtes Weichholz EU (540 kg/m ² bei 20 % Feuchtigkeit)	21,5	73,7	320,0**
Armierungsstahl, Cradle to Gate (Annahme: 7850 kg/m ³)	1.067,5	3.669,2	4.317,5
Mineralwolle (46 kg/m ³)	14,4	49,5	20,7

* für die Entsorgung wird das GWP einer Bauschutttaufbereitung angenommen

** die Umweltkosten bei Holzbaustoffen stammen größtenteils aus der berücksichtigten Landnutzung

***GWP der LZPH A1-A3 und C3/C4 nach den Datensätzen der ÖKOBAUDAT, Version 2020-II

4.7.2.3 Visualisierung des GWP über notwendiges Baumwachstum

Eine andere Möglichkeit, Umweltwirkungen leicht verständlich an die Zielgruppe heranzuführen ist die Visualisierung von Kompensationsmaßnahmen, wie dem Baumwachstum. Hierbei wird die Anzahl der Baumpflanzungen ermittelt, die das durch das Projekt emittierte CO₂ in Form von Kohlenstoff binden können.

Das amerikanische Landwirtschaftsministerium (United States Department of Agriculture) stellt hierzu das Excel-Tool „CUFR Tree Carbon Calculator (CTCC)“ zur Verfügung. Es wurde in Zusammenarbeit des USDA Forest Service mit der Pacific Southwest Research Station, dem Urban Ecosystems and Processes Team und dem California Department of Forestry and Fire Protection entwickelt. Mit dem Tool kann abhängig von der Klimazone, der Baumart, der Baumgröße oder des Baumalters das in Form von Kohlenstoff gespeicherte CO₂ berechnet werden. Auch die dadurch entstehende oberflächliche und nutzbare Biomasse kann ermittelt werden. Als Grundlage dient die Untersuchung verschiedener gewachsener Stadtbaumarten. (Climate Change Resource Center, o. J.)

4.7 Diskussion der Ergebnisse auf Quartiersebene

Im Rahmen einer Bachelorarbeit am Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen wurde die Anwendbarkeit dieses Tools für den Standort München untersucht. Ziel war es, die Biomasse und das CO₂-Bindungspotential für die heimische Stadtlinde (auch Winterlinde genannt), den Spitzahorn, die Hainbuche und den Weißdorn zu ermitteln. Dabei muss die Baumhöhe und der Durchmesser auf Brusthöhe bestimmt werden. Zur Validierung der durchschnittlichen Biomasse wurden weitere Studien herangezogen. Tabelle 4-5 beinhaltet das Resultat der Recherchen zur Biomasse und dem CO₂-Bindungspotential von Stadtlinde, Spitzahorn und Weißdorn nach Berechnungen mit dem CTCC. Es wird deutlich, dass je nach Baumart und -größe durch Photosynthese unterschiedlich viel CO₂ in Form von Kohlenstoff gebunden werden kann und dass die Möglichkeiten der CO₂-Kompensation durch Stadtbäume begrenzt ist. (Kalisch, 2021)

Tabelle 4-5: Biomasse und CO₂-Bindungspotential von Stadtbäumen unter Verwendung des CTCC (Climate Change Resource Center, o. J.); eigene Darstellung nach Kalisch (2021, S. 52)

Baumart	Durchmesser auf Brusthöhe [cm]	Baumhöhe [m]	Biomasse [kg]	CO ₂ -Bindung [kg CO ₂]
Stadtlinde	37,10	14,30	642,41	1.178,82
Spitzahorn	39,70	15,30	1.054,84	1.935,63
Weißdorn	40,60	9,15	1.186,79	2.177,77

Tabelle 4-6 legt die CO₂-Kompensation am Beispiel der bereits in Tabelle 4-4 (siehe Seite 131) ausgewählten Baustoffe dar. Sie klärt die Frage, wie viele von den in Tabelle 4-5 definierten Stadtbäumen für die Kompensation von jeweils einem Kubikmeter Baustoff benötigt werden. Berücksichtigt wird dabei das GWP der Herstellungs- (A1-A3) und Entsorgungsphasen (C3/C4).

Tabelle 4-6: Kompensation des GWP durch Baumwachstum - Anzahl der benötigten Stadtbäume je m³ Baustoff; eigene Darstellung unter Verwendung der Daten von BBSR (o. J.) und Kalisch (2021)

Baustoff	GWP für Herstellung (A1-A3) und Entsorgung (C3/C4) je m ³ Baustoff [kg CO ₂ -Äq.]	Anzahl der benötigten Stadtbäume je m ³ Baustoff [-]
Beton C30/37 (Annahme: 2400 kg/m ³)	225,0	Stadtlinde: 0,19 Spitzahorn: 0,12 Weißdorn: 0,10
Kalksandsteinziegel (Annahme: 1800 kg/m ³)	249,6	Stadtlinde: 0,21 Spitzahorn: 0,13 Weißdorn: 0,11
Gesägtes Weichholz EU (540 kg/m ² bei 20 % Feuchtigkeit)	107,8	Stadtlinde: 0,09 Spitzahorn: 0,06 Weißdorn: 0,05
Armierungsstahl, Cradle to Gate (Annahme: 7850 kg/m ³)	5.364,3	Stadtlinde: 4,55 Spitzahorn: 2,77 Weißdorn: 2,46
Mineralwolle (46 kg/m ³)	72,4	Stadtlinde: 0,06 Spitzahorn: 0,04 Weißdorn: 0,03

Bei einer Wanddicke von 24 cm, ist z. B. eine Stadtlinde mit einer Biomasse von rund 642 kg erforderlich, um das lebenszyklusbasierte GWP von 15,0 m² Stahlbeton (Armierungsgehalt 2 %) oder 19,8 m² Kalksandstein kompensieren zu können. Möchte man 280 m² einer Bestandswand energetisch sanieren und bringt dafür z. B. 12 cm Mineralwolle auf, ist die Biomasse eines Weißdorns von ca. 1.187 kg zur Kompensation des GWP erforderlich.

Kalisch (2021) weist jedoch darauf hin, dass laut Studien die Werte nicht allgemeingültig verwendet werden können. Zum Beispiel sind Stadtbäume entgegen den Waldbäumen vermehrt Hitzestress, begrenztem Wurzelraum und anderen wachstumshemmenden Faktoren ausgeliefert (Moser et al., 2015; Quigley, 2004). Je nach Umgebungsbedingungen und Baumart können die Kohlenstoffbindungspotentiale sehr unterschiedlich sein. Das muss bei der Wahl dieser Visualisierungsmöglichkeit zwingend kommuniziert werden. Auch, dass diese Kompensationsmöglichkeit nicht uneingeschränkt angewendet werden kann und dadurch keine Möglichkeit entsteht, beliebig große Mengen an GWP zu emittieren. Hierzu stellt sich die Frage, ob die Kompensation zentral am Standort der Emissionsfreisetzung (z. B. im Stadtquartier selbst) oder dezentral auf Ausgleichsflächen erfolgen kann. Da die Platzverhältnisse in Bestandsquartieren meist sehr beengt sind, ist eine zentrale Bindung der emittierten Treibhausgase nicht gänzlich möglich.

Vielmehr soll diese Methode vor Augen führen, welche Anstrengungen unternommen werden müssen, um bauliche Umweltauswirkungen zu kompensieren. Trotzdem weist sie Vorteile auf, denn sie ist in der Bevölkerung bereits durch verschiedene Angebote bekannt und kann über eine Infobox, die nach Durchführung der Berechnungen in der Software erscheint, visualisiert werden (siehe Abbildung 4-5) (Grow my Tree GmbH, 2022; Naturefund e.V., 2022; Stiftung Wilderness International, 2022).



Abbildung 4-5: Beispiel Visualisierung – Kompensation des GWP durch Baumpflanzungen; eigene Darstellung

4.7.2.4 Farbliche Visualisierung im 3D-Stadtmodell

Die Ergebnisse der gewählten Umweltindikatoren können der Zielgruppe auch gebäude-spezifisch mit Hilfe einer 3D-Visualisierung erläutert werden. Harter (2021, S. 91-94) zeigt dies anhand der Ergebnisse des betrieblichen Energiebedarfs vor und nach der Sanierung des gewählten Fallbeispiels auf. Die Darstellung erfolgt durch das browserbasierte Tool „3DcityDB Web-Map-Viewer“, womit die Ergebnisse nicht nur numerisch, sondern auch

4.7 Diskussion der Ergebnisse auf Quartiersebene

farblich – z. B. anhand der Farbskala des deutschen Energieausweises (grün, gelb, orange und rot) – im 3D-Stadtmodell illustriert werden können (TU München - Lehrstuhl für Geoinformatik, o. J.c). Zudem besteht die Möglichkeit, die Ergebnisse szenarienspezifisch anzeigen zu lassen. Nähere Erläuterungen zur Methodik können den entsprechenden Seiten der Dissertation entnommen werden (Harter, 2021, S. 91-94). Abbildung 4-6 zeigt eine beispielhafte Einfärbung der Quartiersgebäude nach dem betrieblichen Primärenergiebedarf.

Bezogen auf die Umweltwirkungen der Baukonstruktion wäre es denkbar, dass man die Farbskala entweder auf Basis vorhandener Benchmarks – z. B. des DGNB- oder BNB-Systems – oder individuell mit Hilfe des Wertebereichs eines Basisszenarios erstellt und die Ergebnisse ins Verhältnis setzt (BMUB, 2017; Braune et al., 2021).

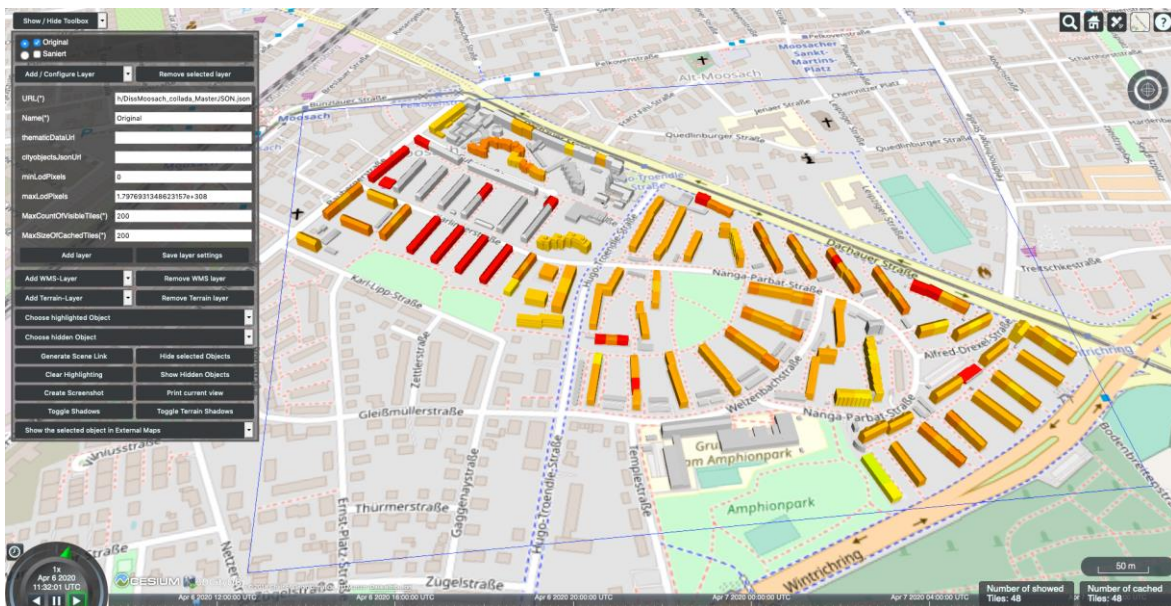


Abbildung 4-6: Visualisierungsbeispiel Gebäudebestand im 3D-Stadtmodell – Einfärbung nach spezifischem Primärenergiebedarf nach Harter (2021, S. 93) unter Verwendung von (FOSSGIS e.V., o. J.; TU München - Lehrstuhl für Geoinformatik, o. J.c)

4.8 Zusammenfassung Kapitel 4

- Das Kapitel beschreibt die Vorgehensweise bei der LCA auf Quartiersebene mit Hilfe von 3D-Stadtmodellen (LoD2) im CityGML 2.0-Standard in den einzelnen Arbeitsschritten.
- Die vorliegenden Datenstrukturen werden analysiert und durch notwendige nutzerspezifische Angaben ergänzt.
- Der Fokus liegt auf der Bilanzierung von Bestandsquartieren, die durch Sanierung, Nachverdichtung oder Ersatzneubau energetisch verbessert werden. Insgesamt werden fünf maßgebende Szenarien identifiziert: Status Quo, Sanierung mit gleichbleibender Gebäudekubatur, Sanierung mit Aufstockung in Holzrahmenbauweise, Abriss und Ersatzneubau in Holzbauweise sowie Abriss- und Ersatzneubau in Massivbauweise.
- Auf Basis der Quartiersentwicklungsszenarien findet man detaillierte Berechnungslogiken für die einzelnen Bauteilflächen- und Kennwertermittlungen. Diese sind allgemeingültig formuliert und können in verschiedene Softwarelösungen integriert werden.
- Die Methode erlaubt eine weitere Spezifizierung der Bauweisen.
- Vorhandene Unsicherheiten, wie die Übertragbarkeit der ökologischen Kennwerte auf das spezifische Fallbeispiel oder die vereinfachte Bauteilflächenermittlung, sind zu prüfen und transparent darzustellen.
- Die Methode ersetzt keine detaillierte und gebäudespezifische LCA, die standardmäßig bei fortgeschrittener Planung oder nach Beendigung der Bautätigkeiten unter Aufnahme der tatsächlichen Bauausführung durchgeführt wird. Vielmehr entfaltet sie ihre Potentiale im Szenarienvergleich großer Liegenschaften in frühen Planungsphasen, wo richtungsweisende Entscheidungen mit Hilfe von fundierten und quantitativen Analysen getroffen werden müssen, die in zeitlich begrenztem Umfang durchgeführt werden können.
- Es werden verschiedene Visualisierungsmöglichkeiten vorgestellt, mit deren Hilfe je nach Zielgruppe (z. B. Planung, Politik, Kommunen, Bevölkerung) die Ergebnisse anschaulich präsentiert und kommuniziert werden können. Eine Möglichkeit stellt die gebäudespezifische und farbliche Visualisierung im 3D-Stadtmodell mit Hilfe des „3DcityDB Web-Map-Viewers“ dar (TU München - Lehrstuhl für Geoinformatik, o. J.c).

5 Fallstudie und Validierung

5.1 Die Fallstudie

Um die Anwendbarkeit der entwickelten Berechnungslogiken und ökologischen Kennwerte für Baukonstruktionen zu untersuchen, wird eine Fallstudie herangezogen. Es handelt sich hierbei um das reale Bestandsquartier München-Moosach, das bereits Untersuchungsgegenstand im Forschungsprojekt „Grüne Stadt der Zukunft“ war (TU München - Lehrstuhl für Strategie und Management der Landschaftsplanung, o. J.). Abbildung 5-1 zeigt ein 3D-Rendering des Quartiers, das auf Basis des vorhandenen 3D-Stadtmodells (LoD2) im CityGML-Format 2.0 erstellt wurde.



Abbildung 5-1: 3D-Rendering Fallstudie Moosach nach Banihashemi et al. (2021, S. 14)

5.1.1 Beschreibung

Das Bestandsquartier wird primär als Wohngebiet genutzt. Der dargestellte Umriss des CityGML-Modells umfasst in Summe ca. 380 Gebäude. Die Gebäude setzen sich aus einzelnen, sich tangierenden Gebäudehüllflächen zusammen. Jedes Gebäude erhält einen charakteristischen, unverwechselbaren Namen mit fortlaufender Nummerierung (hier: „DEBY_LOD2_XXXXXXX“). Gebäuderiegel oder -blöcke können dabei in Reihenmittel- oder Reihenendhäuser unterteilt werden. Sie besitzen dann gemeinsame Gebäudetrennwände. Nähere Informationen zum Aufbau des Stadtmodells und den Datenstrukturen können Kapitel 2.5, ab Seite 33 bzw. Kapitel 4.2 ab Seite 109 entnommen werden.

Von den 380 Gebäuden werden 181 Wohngebäude für die Methodenanwendung herangezogen. Es handelt sich um drei- bis siebengeschossige Mehrfamilienhäuser, die zwischen den Jahren 1940 und 1970 errichtet wurden. Ein- oder Zweifamilienhäuser sind in diesem Quartiersumriss nicht vorhanden. Die Bebauung ist durch eine aufgelockerte Zeilenbebauung strukturiert (siehe Abbildung 5-2). Das Quartier bedarf in den nächsten Jahren einer Sanierung bzw. Aufwertung und wird im Rahmen des Städtebauförderprogramms „Sozialer Zusammenhalt“ gefördert. Als eine der zentralen Fragen galt im Forschungsprojekt zu klären, wie sich die bestehende Wohnbebauung unter Berücksichtigung des Klimaschutzes und der Klimaanpassung nachverdichten lässt (Banihashemi et al., 2021, S. 14).

Deshalb wurden im Rahmen des Forschungsprojektes gemeinsam mit der LHM fünf wesentliche Quartiersentwicklungsszenarien erarbeitet, für die in dieser Dissertation die Berechnungslogiken entwickelt werden. Die einzelnen Szenarien werden in Kapitel 4.4 ab Seite 117 vorgestellt. Für das Projekt wurde das 3D-Stadtmodell des bayerischen LfDBV mit Informationen der Gebäudedatei der LHM angereichert, um daraus die notwendigen Informationen für eine LCA auf Quartiersebene zu erhalten. Nähere Informationen dazu finden sich in Kapitel 4.2 auf Seite 109.



Abbildung 5-2: Bestandsgebäude im Bestandsquartier Moosach; eigene Bilder

In Abbildung 5-3 ist die prozentuale Verteilung der Baualtersklassen und der Geschossanzahlen über GOK dargestellt. 34,8 % der Mehrfamilienhäuser können der BK 2, 27,6 % der BK 3 und 37,6 % der BK 4 zugeordnet werden. Die anderen Baualtersklassen sind im Untersuchungsgebiet nicht vertreten. Bei einer mittleren Gebäudehöhe von 14,2 m verfügen mehr als die Hälfte der Gebäude über vier Geschosse über GOK, gefolgt von Gebäuden mit fünf Geschossen. Daneben besitzen einige Gebäude drei, sechs oder sieben Vollgeschosse über GOK. 180 von 181 Gebäuden weisen Steildächer auf. Im gesamten Quartier ist nur ein Flachdach vorhanden. Abbildung 5-2 zeigt die typische Fassadenart im Quartier: eine verputzte Lochfassade. Die Gebäude sind primär in Massivbauweise ausgeführt.

Das semantische 3D-Stadtmodell des Quartiers, das mit Hilfe der Daten des bayerischen LfDBV, der LHM und Harter und Willenborg et al. (2020) erzeugt wurde, ist in Abbildung 5-4

zu sehen. Neben der grafischen Visualisierung der Gebäude können mit Hilfe des frei zugänglichen FZK-Viewers auch die einzelnen Gebäudedaten abgerufen werden. Dazu wird in der linken Spalte das jeweilige Einzelgebäude mit der Namensdefinition „DEBY_LOD2_XXXXXXX“ ausgewählt. In der rechten Spalte erscheinen im Anschluss die hinterlegten Gebäudedaten (siehe Tabelle rechts im Bild) (Karlsruher Institut für Technologie [KIT], 2022). Die hinterlegten Gebäudedaten können bei Bedarf auch als Excel-Tabelle ausgegeben werden.

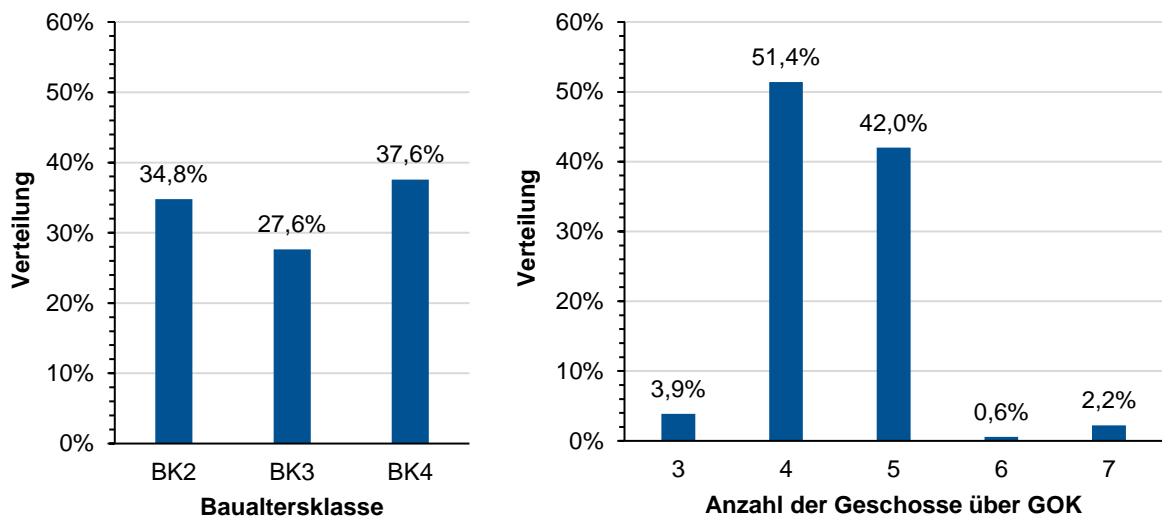


Abbildung 5-3: Fallstudie Moosach, Prozentuale Verteilung der Baualterklassen (links) und Geschossanzahlen über GOK (rechts); eigene Darstellung nach Auswertung des 3D-Stadtmodells

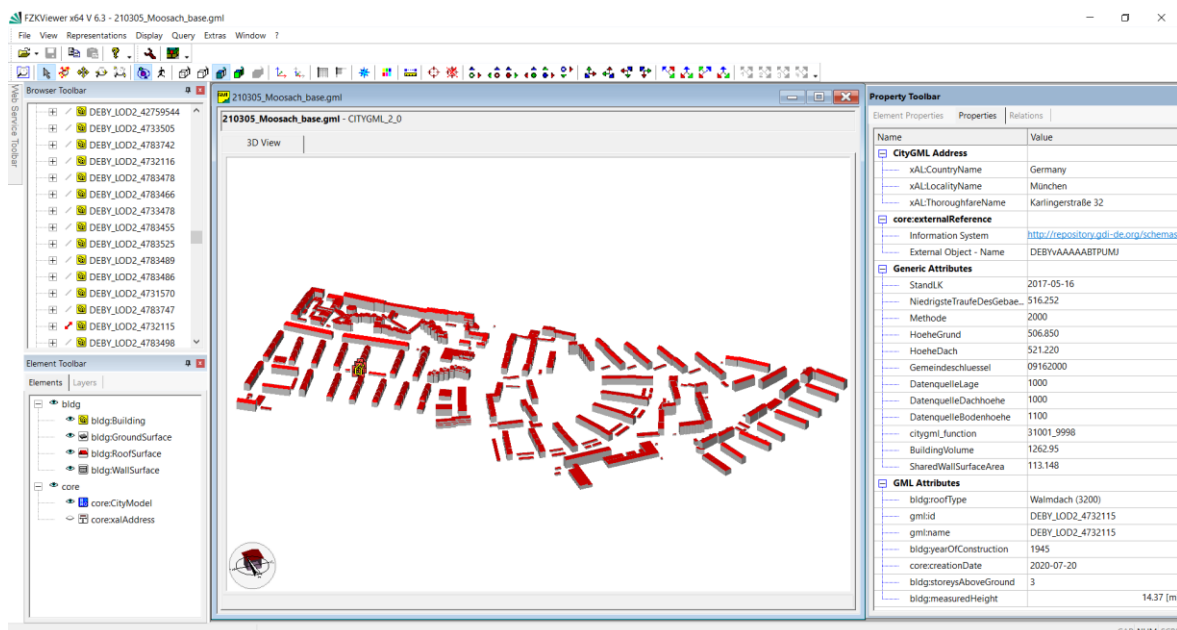


Abbildung 5-4: Fallstudie Moosach, Darstellung des 3D-Stadtmodells mit dem FZK-Viewer (KIT, 2022)

Das Modell liefert alle erforderlichen Daten, um die entwickelten LCA-Berechnungslogiken – siehe Kapitel 4.5 und 4.6 ab Seite 122 bzw. Anhänge A.9 und A.10 ab Seite 469 – der Szenarien Status Quo und Sanierung mit gleichbleibender Gebäudekubatur validieren zu können (vgl. Kapitel 4.4.1 und 4.4.2 ab Seite 118). Um die Szenarien Sanierung mit

Aufstockung in Holzrahmenbauweise sowie den Abriss und Ersatzneubau in Holz- bzw. Massivbauweise (vgl. Kapitel 4.4.3 bis 4.4.5 ab Seite 119) berechnen zu können, war im Forschungsprojekt „Grüne Stadt der Zukunft“ eine manuelle Anpassung der Gebäude, und zwar um eine zweigeschossige Aufstockung, erforderlich (TU München - Lehrstuhl für Strategie und Management der Landschaftsplanung, o. J.). Dieses Modell wird ebenfalls für die Durchführung der hier vorliegenden Fallstudie genutzt.

5.1.2 Repräsentativität

Die untersuchten Wohngebäude stammen aus drei Baualtersklassen: BK 2 (34,8 %), BK 3 (27,6 %) und BK 4 (37,6 %). Nach der letzten Bevölkerungs- und Wohnungszählung (Zensus 2011) gehören 50,4 % der deutschen, 50,5 % der bayerischen und 58,7 % der Münchener Wohngebäude zu den Baualtersklassen 2, 3 und 4 (siehe Abbildung 5-5).

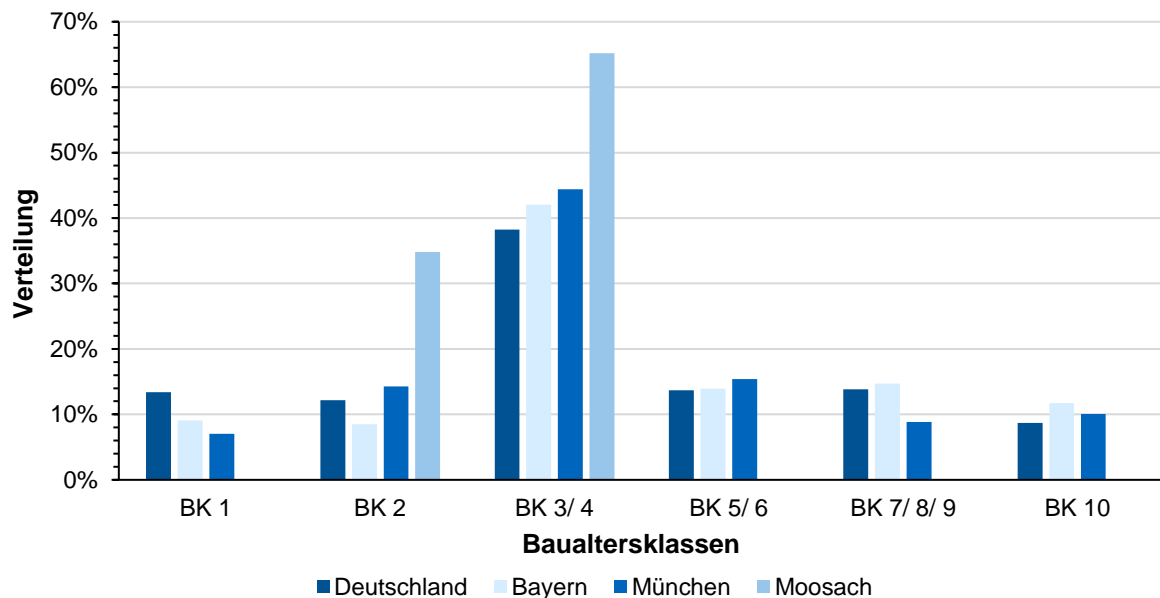


Abbildung 5-5: Prozentuale Verteilung bestehender Wohngebäude nach Baualtersklassen; eigene Darstellung nach Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2018) und Landeshauptstadt München (o. J.)

Das Bestandsquartier Moosach bildet zwar nicht den nationalen bzw. regionalen Durchschnitt ab, trotzdem sind diese drei Baualtersklassen national sowie regional mit einem Anteil von über 50 % dominierend.

Vor dem Hintergrund der Steigerung der Sanierungsraten hin zur Klimaneutralität und Energieeffizienz ist die Betrachtung dieser Baualtersklassen besonders relevant. Die Gebäude besitzen ein durchschnittliches Alter von 54 bis 103 Jahren und müssen, falls noch nicht geschehen, sukzessive energetisch saniert werden. Somit ist die Fallstudie im Kontext des Sanierungsbedarfs repräsentativ und zur Anwendung der Methode geeignet.

5.1.3 Methodik

Im ersten Schritt erfolgt die statische Berechnung und Ergebnisdarstellung der in Kapitel 4.4 ab Seite 117 beschriebenen Quartiersentwicklungsszenarien. Die Ergebnisunterschiede und Unsicherheiten bei automatisiert und manuell durchgeführten Bauteilflächenberechnungen werden überprüft. Dazu wird die Bauteilfläche eines ausgewählten Wohngebäudes im Quartier manuell berechnet. Anschließend werden die Ergebnisse denen der automatisiert durchgeführten Flächenberechnung gegenübergestellt. Die Unsicherheitsanalyse wird durch eine Sensitivitätsanalyse der Inputparameter ergänzt, bevor die Szenarienergebnisse miteinander verglichen und final diskutiert werden.

5.2 Berechnung und Ergebnisse der Szenarien

Die LCA-Studie von Feng et al. (2020) über den baulichen Umgang mit alten Einfamilienhäusern im städtebaulichen Kontext zeigt, dass vor Festlegung der Baumaßnahmen ein Szenarienvergleich zwischen Renovierungs- und Neubauoptionen durchgeführt werden sollte. In dieser Studie werden sechs Entwicklungsszenarien detailliert abgewägt und diskutiert. Ein Ersatzneubau im Passivhausstandard verursacht hier lebenszyklusbasiert das geringste GWP. Dieses Ergebnis trifft jedoch nicht zwangsläufig auf jede Fallstudie zu, da unterschiedliche Randbedingungen Einfluss nehmen.

5.2.1 Randbedingungen Moosach

Nachfolgend werden auf Basis der definierten Methoden und vorhandenen Gebäudedaten die Szenarienergebnisse des Fallbeispiels Moosach vorgestellt. Für die Durchführung automatisierter Berechnungen wurden die in Kapitel 4.5 und 4.6 (siehe ab Seite 122) beschriebenen Berechnungslogiken im Rahmen des Forschungsprojektes Grüne Stadt der Zukunft teilweise in die Software urbi+ implementiert (Banihashemi et al., 2021; Harter, 2021).

Dabei werden weitere Randbedingungen festgelegt (siehe hierzu auch Tabelle A. 88, Seite 469):

- Das Bestandsquartier verfügt über einschalige Massivwände. Deshalb fließen die Umweltwirkungen der zweischaligen Massivbauwände (EW2shelled und SW2shelled), der Wände mit Vorsatzschalen (EWcwf und SWcwf) und der Holzwände (EWwood, SWwood und IWwood) nicht mit in die Berechnung ein.
- Alle Bestandsgebäude verfügen über ein Kellergeschoss (StoreysBelowGround_V0 = 1).
- Der Fensterflächenanteil beträgt bei allen MFH 15 % (WTWR_MFH_V0 = 0.15).
- Das Flächenverhältnis Innenwand MFH zu Außenwand MFH verhält sich zu 1,34 (ITWTEW_MFH = 1.34).
- Das Verhältnis der Fundament- zur Bodenplatte wird mit dem Faktor 0,27 (FTBP = 0.27) definiert.
- Es wird angenommen, dass Dach- und Kellergeschoss der Gebäude im Bestand nicht beheizt werden (HTFL_V0 = false; HCFL_V0 = false; vgl. Abbildung 5-6).
- Nach der Sanierung bleibt das Kellergeschoss unbeheizt (HCFL_V1 = false), das Dachgeschoss wird beheizt (HTFL_V1 = true; vgl. Abbildung 5-6).
- Der Ersatzneubau erhält ebenfalls ein unbeheiztes Kellergeschoss (HCFL_V1 = false; vgl. Abbildung 5-6).

Die Ergebnisse werden in Microsoft Excel-Tabellen exportiert und manuell ausgewertet.

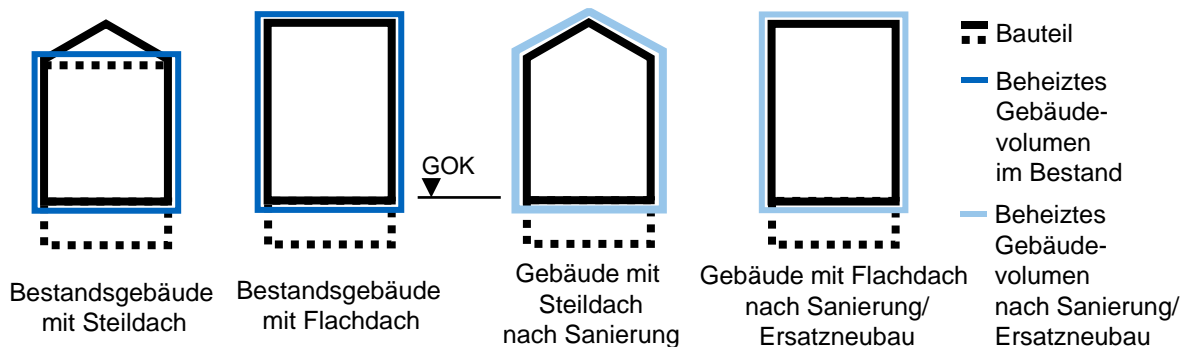


Abbildung 5-6: Fallstudie Moosach, Beheizungssituation im Bestand und nach der Sanierung bzw. dem Ersatzneubau; eigene Darstellung

5.2.2 Ergebnisse Szenario 1 – Status Quo

Szenario 1 (SC 1.1 bis 1.4; vgl. Abbildung 5-7) dient primär zur Erfassung des Ausgangszustandes und nicht für den späteren Szenarienvergleich. Denn Ziel des Szenarienvergleichs ist die Identifizierung einer ökologisch optimierten Quartiersentwicklung zur Reduktion des betrieblichen Energiebedarfs und nicht das Belassen des Quartiers im energetischen Ausgangszustand. Stattdessen steht bei Szenario 1 die Kenntnis über die aktuell im Bestand verbauten Grauen Energien und Emissionen im Vordergrund. Interessant ist dabei, ob baualtersbedingte Unterschiede bei der ökologischen Qualität vorhanden sind, wenn die Gebäude weitere 50 Jahre so genutzt werden würden.

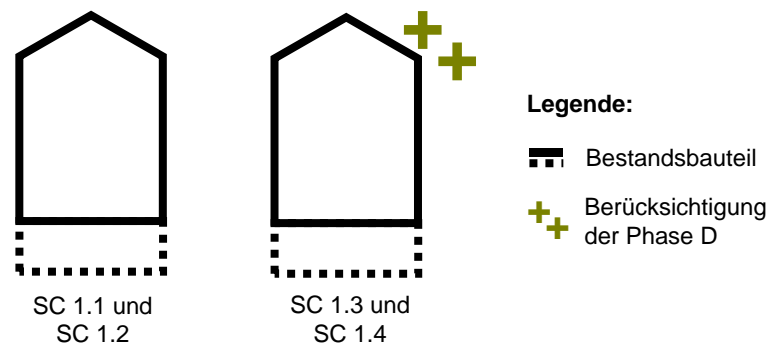


Abbildung 5-7: Skizzenhafte Darstellung Szenario 1; eigene Darstellung

Das Szenario 1 berücksichtigt mit seinen vier Unterszenarien (siehe Tabelle 5-1) die minimalen und maximalen Umweltwirkungen der Herstellung, der 50-jährigen Nutzung und der Entsorgung der bestehenden Baukonstruktionen (mit und ohne Phase D) – genaue Definition der Szenarien siehe Kapitel 4.4.1, Seite 118. Würde das Bestandsquartier heute wieder so gebaut und 50 Jahre genutzt werden, würde ein GWP zwischen 10.941,3 und 52.295,7 t CO₂-Äq. emittiert werden. Zusätzlich wäre ein nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf zwischen 22.117,5 und 144.244,2 MWh und ein totaler Primärenergiebedarf zwischen 44.667,1 und 186.615,8 MWh für die 181 Gebäude erforderlich.

Bezieht man die Umweltwirkungen auf die Nettonraumfläche (NRF; hier insgesamt 130.611,1 m²), können die Werte besser eingeordnet und mit anderen Fallstudien verglichen werden. Über 50 Jahre werden 0,084 bis 0,107 t CO₂-Äq./m²_{NRF} emittiert und 0,342

bis 1,429 MWh/m²_{NRF} totale Primärenergie benötigt. Um die Reduktionspotentiale zu bestimmen, werden zunächst die am Gesamtergebnis maßgeblich beteiligten Bauteile identifiziert. Abbildung 5-8 und Abbildung 5-9 machen deutlich, dass im Wesentlichen drei Bauteile – Außenwand (EW_{mas_old}), Innenwand (IW_{mas_old}) und Geschossdecken (FL_{old}) – für die gesamten Umweltwirkungen verantwortlich sind. Je nach Umweltwirkung haben sie einen Anteil von mindestens 59 % (PET, SC 1.3) und 77 % (PENRT, SC 1.3) am Gesamtergebnis. Dies steht im direkten Zusammenhang mit der Bauteilflächenverteilung: an den gesamten Bauteilflächen nehmen die Innenwände 36 %, die Geschossdecken 13,1 % und die Außenwände 13,0 % Anteil (vgl. Abbildung 5-10).

Tabelle 5-1: Fallstudie Moosach, Übersicht Umweltwirkungen gesamt Szenario 1; eigene Darstellung

Umweltwirkung	SC 1.1	SC 1.2	SC 1.3	SC 1.4
GWP gesamt [t CO ₂ -Äq.]	14.017,8 (100 %)	52.295,7 (373 %)	10.941,3 (78 %)	47.606,8 (340 %)
GWP je NRF [t CO ₂ -Äq./m ² _{NRF}]	0,107	0,400	0,084	0,364
PENRT gesamt [MWh]	33.147,4 (100 %)	144.244,2 (435 %)	22.117,5 (67 %)	128.705,7 (388 %)
PENRT je NRF [MWh/m ² _{NRF}]	0,254	1,104	0,169	0,985
PET gesamt [MWh]	45.046,2 (100 %)	186.615,8 (414 %)	44.667,1 (99 %)	172.477,1 (383 %)
PET je NRF [MWh/m ² _{NRF}]	0,345	1,429	0,342	1,321

SC 1.1: LZPH A1-C4, minimale Umweltwirkungen; SC 1.2: LZPH A1-C4, maximale Umweltwirkungen;
SC 1.3: LZPH A1-D, minimale Umweltwirkungen; SC 1.4: LZPH A1-D, maximale Umweltwirkungen

Die Fenster beeinflussen das Gesamtergebnis ebenfalls. Obwohl sie lediglich einen Bauteilflächenanteil von 2,3 % besitzen, tragen sie bis zu 11 % am GWP, 13 % an der PENRT und 12 % an der PET bei.

Werden die minimalen Umweltwirkungen betrachtet und die Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale am EoL der Bauteile aktiviert (Szenario 1.3), fällt die lebenszyklusbasierte Treibhausgasbilanz bei der obersten Geschossdecke und der Kellerdecke sogar positiv aus. Über das Quartier hinweg werden 9,8 t CO₂-Äq. bei der Kellerdecke bzw. 626,0 t CO₂-Äq. bei der obersten Geschossdecke eingespeichert. Dies verhält sich bei der PENRT äquivalent. Die zwei Bauteile verdrängen durch die energetische Verwertung der Holzbaustoffe am EoL über das gesamte Quartier hinweg insgesamt 2.767,5 MWh nicht erneuerbare Primärenergie.

Die erste Handlungsempfehlung bezieht sich demnach auf die ökologische Detailanalyse und Optimierung der Bauteile mit den größten Flächenanteilen und der Fenster. In diesem Beispiel beeinflussen auch die Innenwände mit ihrer Materialwahl und den vorhandenen Konstruktionsstärken das Gesamtergebnis.

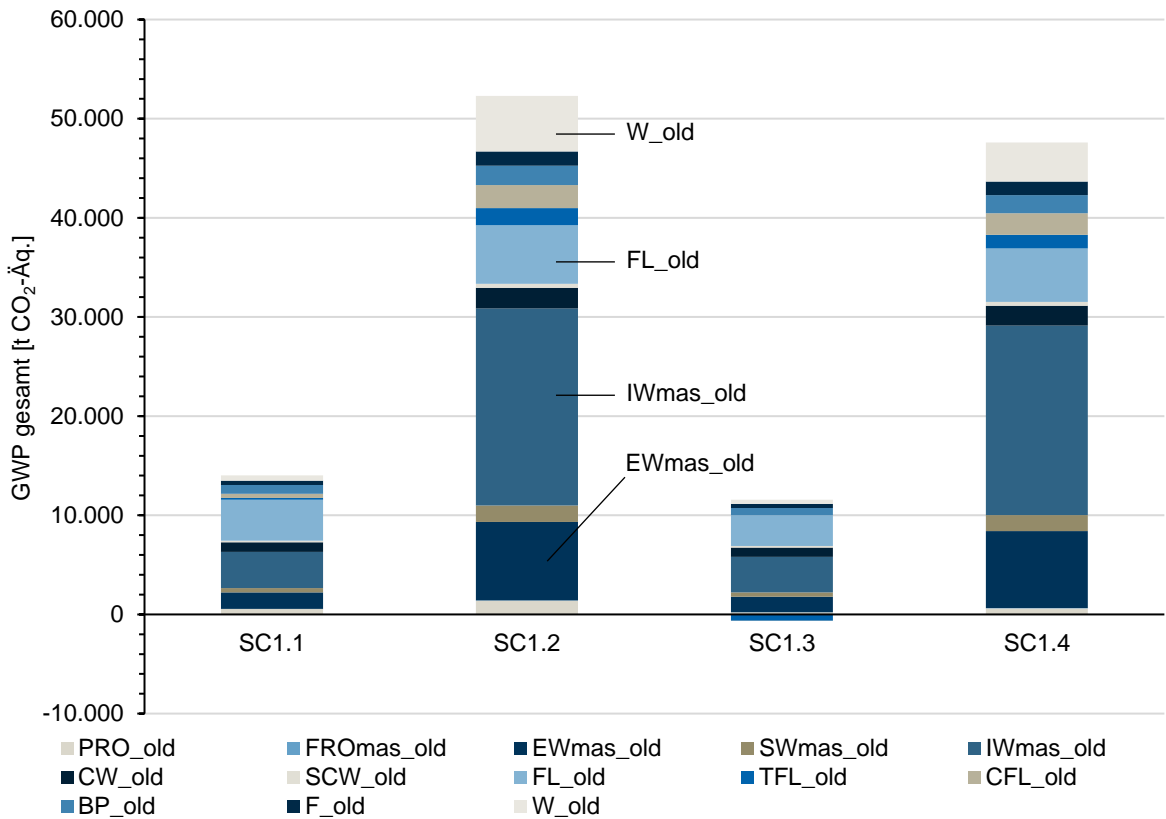


Abbildung 5-8: Fallstudie Moosach, Szenario 1.1 bis 1.4, GWP je Bauteil bei einem Lebenszyklus von 50 Jahren; eigene Darstellung (Bauteilabkürzungen siehe Tabelle 3-4, Seite 71)

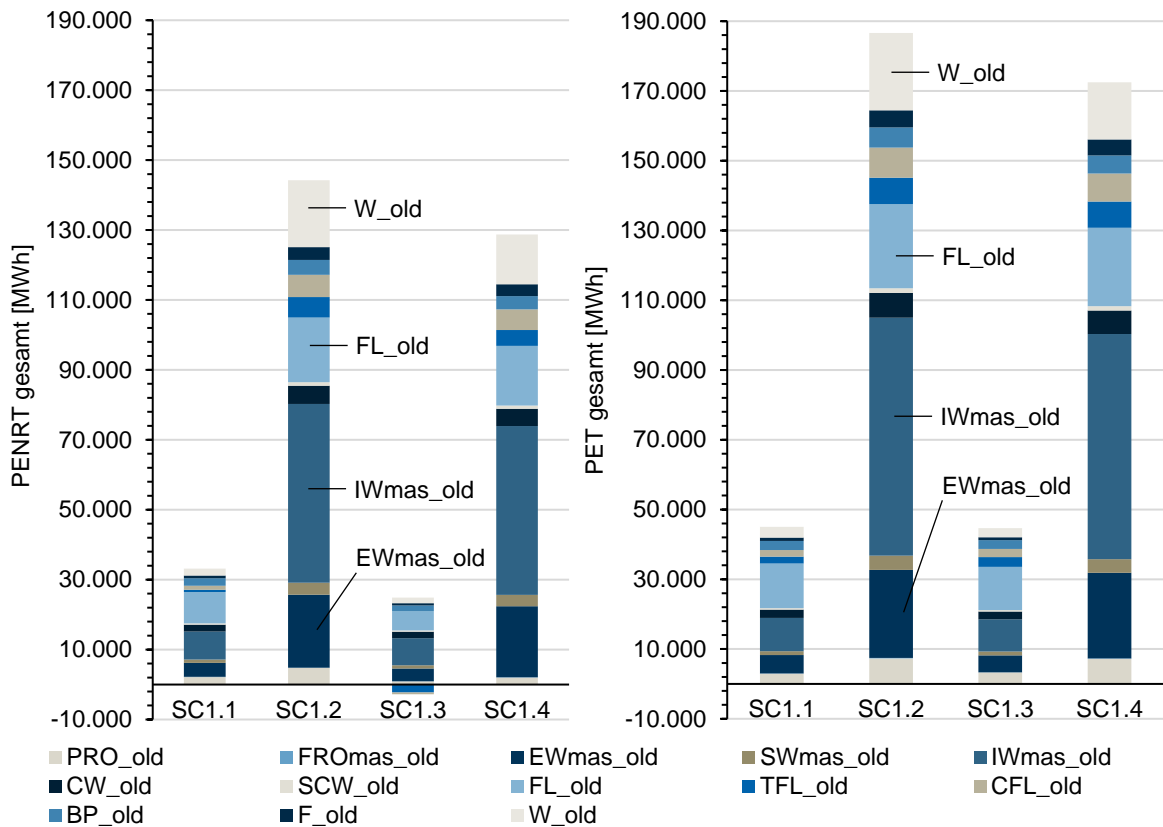


Abbildung 5-9: Fallstudie Moosach, Szenario 1.1 bis 1.4, PENRT und PET je Bauteil bei einem Lebenszyklus von 50 Jahren; eigene Darstellung (Bauteilabkürzungen siehe Tabelle 3-4, Seite 71)

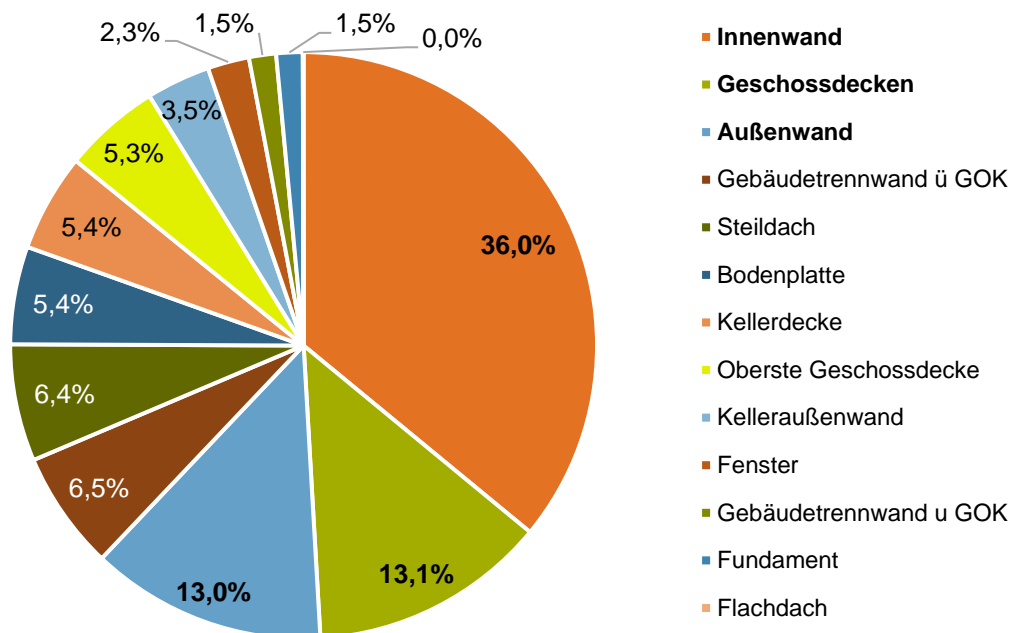


Abbildung 5-10: Fallstudie Moosach, Szenario 1, Prozentuale Bauteilflächenverteilung; eigene Darstellung

Die Frage, ob sich bei den Umweltwirkungen im Quartier auch baualtersklassenspezifische Unterschiede ergeben, wird am Beispiel des GWP in der Abbildung 5-11 diskutiert. Die Auswertung zeigt eine unterschiedliche Verteilung des lebenszyklusbasierten GWP je BK und Unterszenario. Die Gebäudeausführungen der BK 2 emittieren stets das geringste GWP (0,067 bis 0,285 t CO₂-Äq./m²_{NRF}), jene der BK 4 das größte (0,097 bis 0,475 t CO₂-Äq./m²_{NRF}). Das GWP der BK 3 positioniert sich in der Mitte (0,087 bis 0,439 t CO₂-Äq./m²_{NRF}), liegt aber insgesamt gleich oder höher als das durchschnittliche GWP des Quartiers (0,084 bis 0,400 t CO₂-Äq./m²_{NRF}). Im Szenario 1.1 und 1.3 sind die baualtersklassenspezifischen Unterschiede noch relativ gering, im Szenario 1.2 und 1.4 verändert sich dies. Die Haupttreiber bleiben in jeder BK die Innenwände, Außenwände und Geschossdecken. Sie haben prozentual den größten Anteil am gesamten GWP. Jedoch ist das maximale GWP je m²_{NRF} der Außenwand in BK 3 55 % und in BK 4 105 % größer als in BK 2 (0,039 t CO₂-Äq./m²_{NRF}). Auch bei der Innenwand steigt das GWP in BK 3 (+ 44 %) und BK 4 (+ 55 %) gegenüber BK 2 (0,114 t CO₂-Äq./m²_{NRF}) stark an.

Wie am Beispiel der Fenster klar zu erkennen ist, beruhen die Unterschiede beim GWP nicht allein auf dem baualtersklassenspezifischen Bauteilaufbau und Materialeinsatz, sondern auch auf der baualterstypischen Gebäudegeometrie. Das maximale lebenszyklusbasierte GWP je m² Fenster ist in allen BK mit 552,2 kg CO₂-Äq./m²_{Bauteil} gleich. Allerdings handelt es sich in BK 2 um Reihenhäuser mit einem höheren Anteil an Gebäudetrennwänden und somit einem geringeren Anteil an Fensterflächen. Somit steigt bezogen auf das GWP je m²_{NRF} der prozentuale Einfluss der Fenster im Szenario 1.2 von 6,2 % in BK 2 auf 12,1 % in BK 3 und BK 4.

Die Analyse der baualtersbedingten Unterschiede unterstreicht die Handlungsempfehlung, sich im ersten Schritt mit der ökologischen Qualität der Bauteile zu beschäftigen, die

die größten Flächenanteile im Quartier besitzen und die höchsten ökologischen Einzelwerte aufweisen.

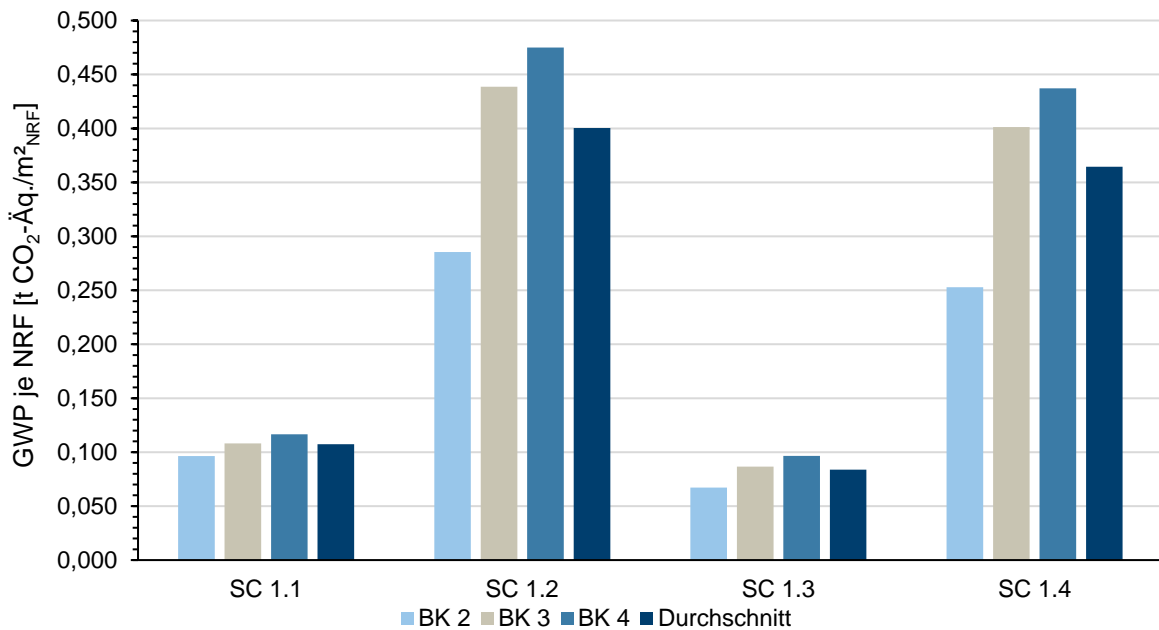


Abbildung 5-11: Fallstudie Moosach, Szenario 1, Lebenszyklusbasiertes GWP je BK und NRF; eigene Darstellung

5.2.3 Ergebnisse Szenario 2.1 – Sanierung mit gleichbleibender Gebäudekubatur

Das Szenario 2.1 (SC 2.1.1 bis 2.1.4; vgl. Abbildung 5-12) widmet sich der konventionellen Sanierung des Bestandsquartiers. Die Gebäudehülle wird nach dem KfW-55-Niedrigstenergiestandard energetisch ertüchtigt und erfüllt somit die technische Mindestanforderung der KfW (KfW, 2020).

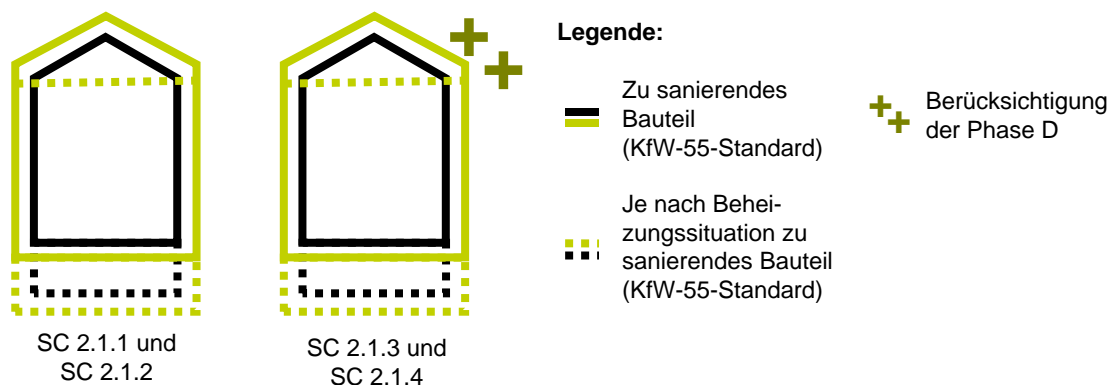


Abbildung 5-12: Skizzenhafte Darstellung Szenario 2.1; eigene Darstellung

Ob mit diesem energetischen Sanierungsstandard ein klimaneutraler Wohngebäudebestand erreicht werden kann, muss im Einzelfall diskutiert werden (vgl. Kapitel 3.5, Seite 76). Wie in Kapitel 4.4.2 auf Seite 118 beschrieben, werden die LZPH A1-A3, B4, C3, C4 und optional die Phase D berücksichtigt. Die Ergebnisse des Szenarios und seiner vier

Unterszenarien werden in Kapitel 5.5 ab Seite 171 mit den Ergebnissen der anderen Quartiersentwicklungsszenarien verglichen, um daraus Handlungsempfehlungen für eine ökologisch optimierte Quartiersplanung ableiten zu können.

Tabelle 5-2 stellt die Gesamtergebnisse je Umweltwirkung und Unterszenario dar. Die Werte schließen die Ökobilanzierung der 181 Wohngebäude über eine Lebensdauer von 50 Jahren ein. Je nach Szenario bzw. Sanierungsausführung (siehe Kapitel 3.5 ab Seite 76) ergeben sich in allen drei Umweltkategorien verschiedene Wertebereiche. Das GWP erstreckt sich von 6.296,7 bis 17.306,7 t CO₂-Äq. bzw. 0,048 bis 0,133 t CO₂-Äq./m²_{NRF}. Bezogen auf das Szenario 2.1.1 entsteht somit eine prozentuale Ergebnisspannweite von 58 bis 160 %, wobei die emittierten Treibhausgasemissionen maßgeblich auf die energetische Sanierung der Gebäudehülle zurückzuführen sind. Sie beeinflusst das GWP zu mindestens 64 %, also rund zwei Drittel (Szenario 2.1.1; 6.896,2 von 10.830,5 t CO₂-Äq.). Vergleicht man das minimale und maximale GWP der Szenarien, wird das ökologische Optimierungspotential bei der Planung der Sanierungsmaßnahmen erkennbar. Durch einen geeigneten Materialeinsatz und die Aktivierung von Wiederverwendungs- und Recyclingpotentialen kann das GWP von 0,133 auf 0,048 t CO₂-Äq./m²_{NRF} reduziert werden (vgl. Szenario 2.1.2 und 2.1.3). Möchte man z. B. das GWP bei der Sanierung der massiven Außenwand (EWmas_ren) reduzieren, sollte man anstatt einer Holzfaserdämmplatte und einer Vorhangfassade aus Faserzementplatten eine WDVS mit Mineralwolldämmung aufbringen. In jedem Fall sollten projektspezifisch die ökologischen Qualitäten verschiedener Dämmmaterialien geprüft werden. Vor allem durch die Berücksichtigung verschiedener Hersteller und deren EPDs können hohe Einsparungen erzielt werden.

Die zugrunde liegenden Bauteilaufbauten und deren Materialspezifika führen innerhalb der Szenarienergebnisse bei der PENRT und PET zu größeren Schwankungen als beim GWP. In Abhängigkeit der Bestandskonstruktionen und Sanierungsausführungen bedarf es für die Sanierung, Nutzung und Entsorgung der Gebäude mindestens 5.005,3 und maximal 51.871,6 MWh nicht erneuerbarer Primärenergie und mindestens 11.913,2 bis maximal 81.221,1 MWh an totaler Primärenergie. Somit ergibt sich bezogen auf das Szenario 2.1.1 bei der PENRT eine prozentuale Ergebnisspannweite von 23 bis 243 % und bei der PET von 78 bis 535 %. Erneut muss auf die Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale hingewiesen werden. Da in den Baualtersklassen 2 bis 4 sowie bei den Sanierungsmaßnahmen unter anderem ein beachtlicher Anteil an Holzbaustoffen vorhanden ist, kann durch ihre thermische Verwertung am EoL erneut PENRT kompensiert werden (vgl. Tabelle 5-2, SC 2.1.3; PENRT gesamt bzw. Bestand und Sanierung im Vergleich). Aber auch Flachstahl (z. B. zu finden in Stahlträgerdecken) und mineralische Baustoffe, wie der Stahlbeton besitzen ein gewisses Potential in der Phase D GWP und PENRT zu kompensieren.

Abbildung 5-13 (Seite 150) und Abbildung 5-14 (Seite 151) illustrieren die lebenszyklusbasierten Umweltwirkungen je Bauteil. Maßgebende Treiber in allen drei Umweltkategorien sind die Sanierungen der Steildächer (PRO_ren) und Außenwände (EWmas_ren) sowie der Austausch und Ersatz der Fenster (W_ren). Zusammen verursachen sie je Szenario 59

bis 79 % des GWP, 79 bis 205 % der PENRT und 86 bis 154 % der PET. Daneben resultieren im Szenario 2.1.2 aus der Sanierung der Kellerdecken (CFL_ren) 2.661,6 t CO₂-Äq., also 15 % des gesamten GWP. Bei den Baukonstruktionen, die im Bestand verbleiben, beeinflussen die oberste Geschossdecke (TFL_old) und die Geschossdecken (FL_old) die Szenarienergebnisse sichtbar. Im Szenario 2.1.1 bestimmen TFL_old und FL_old mit 32 % das lebenszyklusbasierte GWP (vgl. Abbildung 5-13). Gleichzeitig kompensieren sie 34 % (-8.167,2 MWh) der in diesem Szenario benötigten gesamten Primärenergie (vgl. Abbildung 5-14). Diese bilanzielle Gutschrift bei der PET resultiert aus der Verbrennung der Holzanteile in der Phase C3. Dadurch wird hier erneuerbare Primärenergie freigesetzt und gutgeschrieben.

Tabelle 5-2: Fallstudie Moosach, Übersicht Umweltwirkungen gesamt Szenario 2.1; eigene Darstellung

Umweltwirkung	SC 2.1.1	SC 2.1.2	SC 2.1.3	SC 2.1.4
GWP gesamt [t CO₂-Äq.]	10.830,5 (100 %)	17.306,7 (160 %)	6.296,7 (58 %)	8.808,1 (81 %)
GWP gesamt, Bestand [t CO ₂ -Äq.]	3.934,3	1.939,5	1.808,9	-41,0
GWP gesamt, Sanierung [t CO ₂ -Äq.]	6.896,2	15.367,2	4.487,8	8.849,0
GWP je NRF [t CO₂-Äq./m²_{NRF}]	0,083	0,133	0,048	0,067
GWP je NRF, Bestand [t CO ₂ -Äq./m ² _{NRF}]	0,030	0,015	0,014	0,000
GWP je NRF, Sanierung [t CO ₂ -Äq./m ² _{NRF}]	0,053	0,118	0,034	0,068
PENRT gesamt [MWh]	21.346,4 (100 %)	51.871,6 (243 %)	5.005,3 (23 %)	19.251,4 (90 %)
PENRT gesamt, Bestand [MWh]	2.248,5	5.731,5	-5.219,0	-1.099,3
PENRT gesamt, Sanierung [MWh]	19.097,9	46.140,1	10.224,3	20.350,7
PENRT je NRF [MWh/m²_{NRF}]	0,163	0,397	0,038	0,147
PENRT je NRF, Bestand [MWh/m ² _{NRF}]	0,017	0,044	-0,040	-0,008
PENRT je NRF, Sanierung [MWh/m ² _{NRF}]	0,146	0,353	0,078	0,156
PET gesamt [MWh]	15.193,8 (100 %)	81.221,1 (535 %)	11.913,2 (78 %)	54.703,0 (360 %)
PET gesamt, Bestand [MWh]	-7.086,4	4.696,5	-7.357,8	-2.236,2
PET gesamt, Sanierung [MWh]	22.280,2	76.524,6	19.271,0	56.939,2
PET je NRF [MWh/m²_{NRF}]	0,116	0,622	0,091	0,419
PET je NRF, Bestand [MWh/m ² _{NRF}]	-0,054	0,036	-0,056	-0,017
PET je NRF, Sanierung [MWh/m ² _{NRF}]	0,171	0,586	0,148	0,436

SC 2.1.1: LZPH A1-C4, minimale Umweltwirkungen; SC 2.1.2: LZPH A1-C4, maximale Umweltwirkungen; SC 2.1.3: LZPH A1-D, minimale Umweltwirkungen; SC 2.1.4: LZPH A1-D, maximale Umweltwirkungen

5.2 Berechnung und Ergebnisse der Szenarien

Der Fensterersatz sowie die Außenwand- und Steildachsanierung besitzen in allen vier Unterszenarien die größten Einflüsse auf die ökologische Qualität. Deshalb wird hier eine detaillierte Bauteilbetrachtung empfohlen.

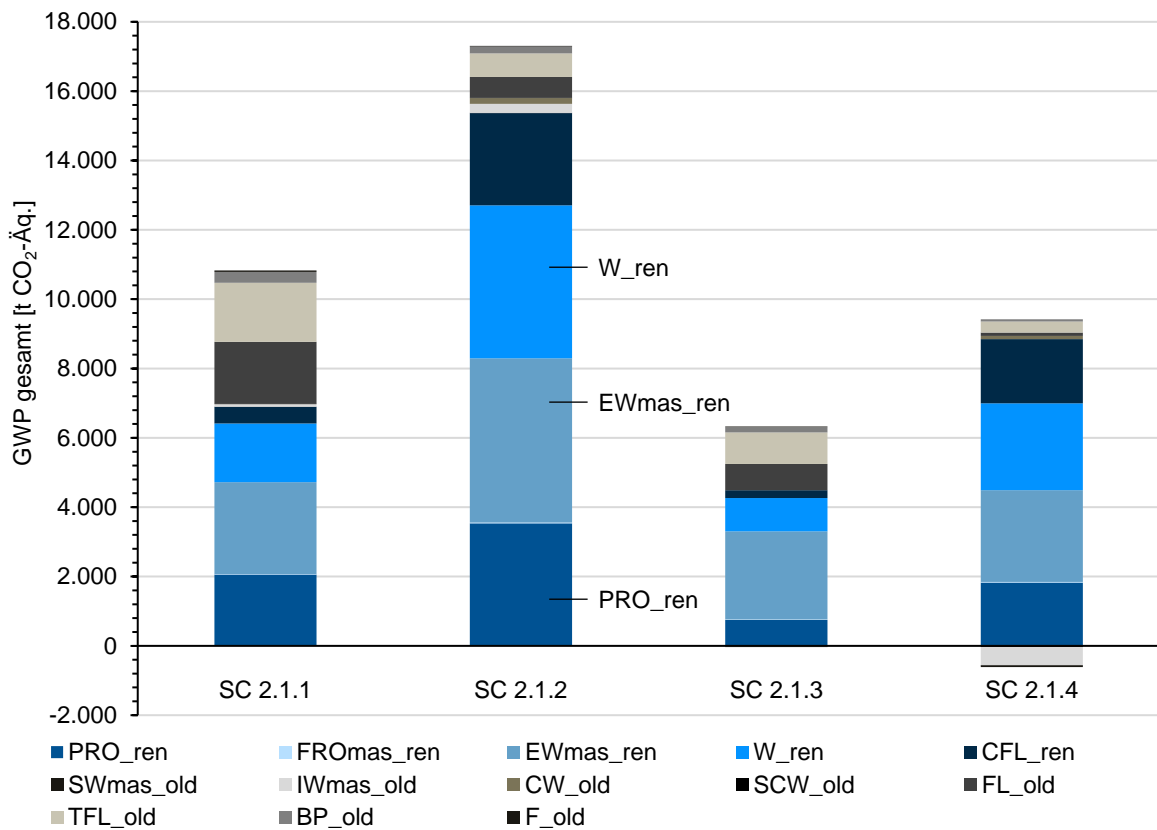


Abbildung 5-13: Fallstudie Moosach, Szenario 2.1.1 bis 2.1.4, GWP je Bauteil bei einem Lebenszyklus von 50 Jahren; eigene Darstellung (Bauteilabkürzungen siehe Tabelle 3-4, Seite 71)

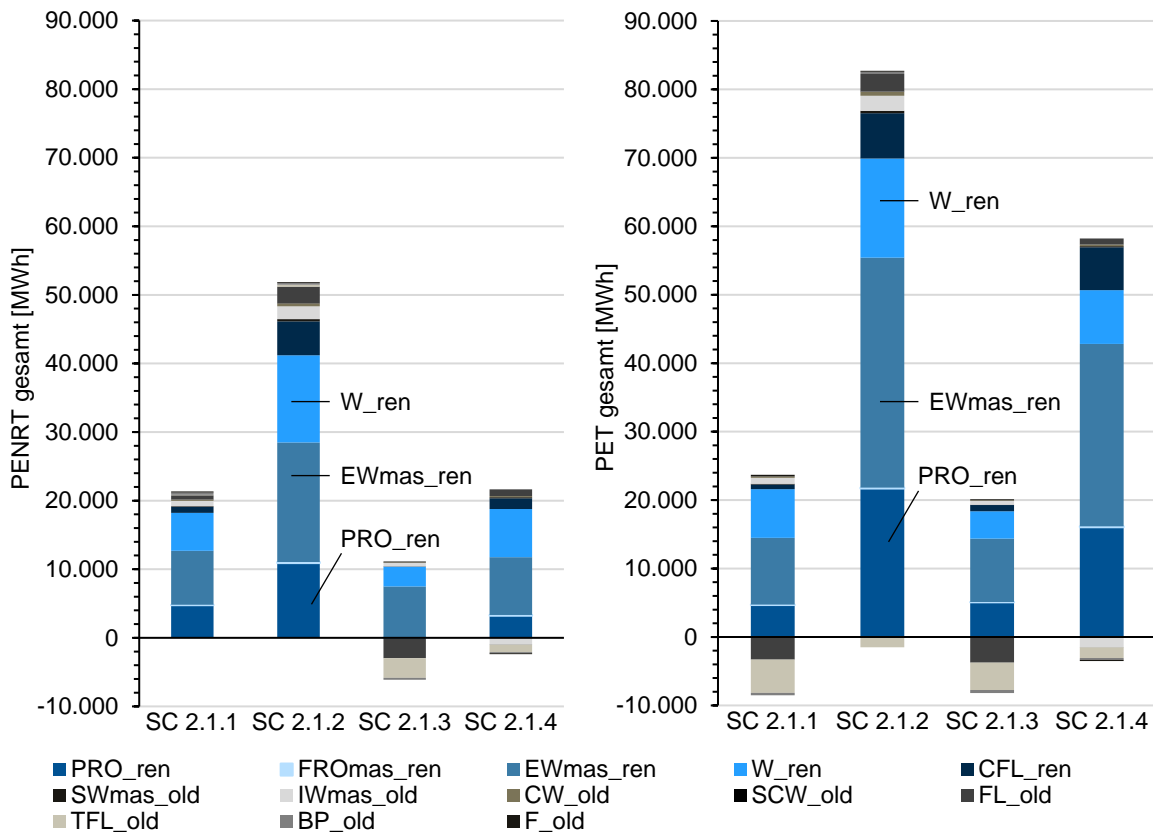


Abbildung 5-14: Fallstudie Moosach, Szenario 2.1.1 bis 2.1.4, PENRT und PET je Bauteil bei einem Lebenszyklus von 50 Jahren; eigene Darstellung (Bauteilabkürzungen siehe Tabelle 3-4, Seite 71)

5.2.4 Ergebnisse Szenario 2.2 – Sanierung mit Aufstockung in Holzrahmenbauweise

Das Szenario 2.2 (SC 2.2.1 bis 2.2.4, vgl. Abbildung 5-15) beinhaltet die ökologischen Potentiale einer Quartierssanierung in Kombination mit einer Nachverdichtung durch Aufstockung. In diesem Beispiel werden die Bestandsgebäude um zwei Geschosse in Holzleichtbauweise (Holzrahmenbauweise) erweitert und die NRF somit um 19 % erhöht.

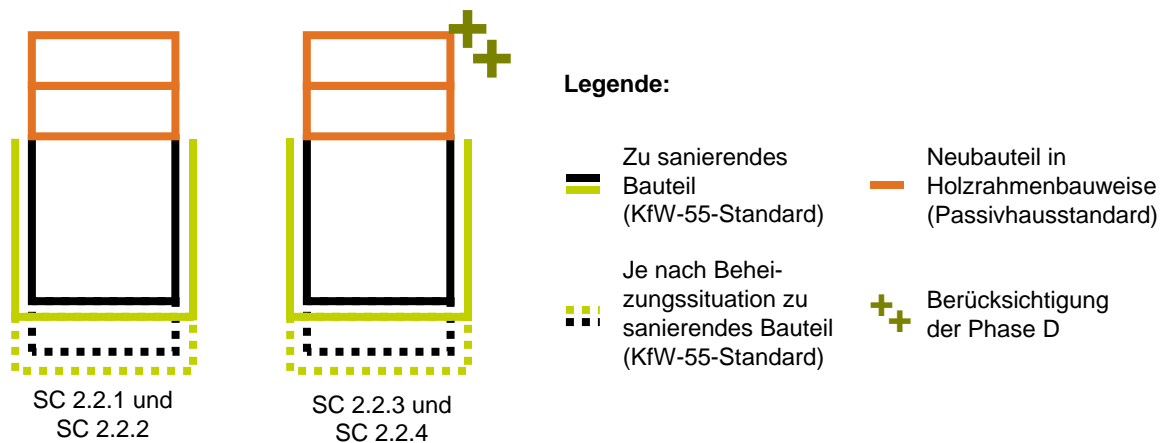


Abbildung 5-15: Skizzenhafte Darstellung Szenario 2.2; eigene Darstellung

5.2 Berechnung und Ergebnisse der Szenarien

Mit diesem Szenario wird analysiert, ob parallel zur Erhöhung der Wohnraumfläche je Grundfläche auch die NRF-bezogenen Umweltwirkungen gegenüber einer konventionellen Sanierung reduziert werden können (vgl. Kapitel 5.5 ab Seite 171).

Das GWP der vier Unterszenarien (siehe Tabelle 5-3) bewegt sich in einer Spannweite von 6.344,0 bis 36.037,2 t CO₂-Äq. bzw. 0,041 bis 0,233 t CO₂-Äq./m²_{NRF}. Allein der Abriss der bestehenden Konstruktionen (v. a. TFL_old) verursacht über 1.300 t CO₂-Äq. im Quartier. Im Szenario 2.2.3 nimmt der Abriss dadurch einen Anteil von 21 % an den Grauen Emissionen ein. Parallel kompensieren die beiden neuen Geschosse in Holzrahmenbauweise 68,7 t CO₂-Äq. durch die Berücksichtigung der Phase D. Werden weder die Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale der Holzwerkstoffe miteinbezogen noch die Konstruktionsdicken auf ein Mindestmaß begrenzt, so sind die Neubaukonstruktionen für 57 % des lebenszyklusbasierten GWP verantwortlich (SC 2.2.2). Daneben ist die Art und Weise der Sanierung maßgebend. Je Szenario resultieren daraus 33 bis 66 % der Grauen Emissionen. Im Szenario 2.2.4 kann durch die Weiternutzung der Bestandskonstruktionen GWP kompensiert werden. Hierzu trägt im Wesentlichen die massive Innenwand (IWmas_old) mit -515,3 t CO₂-Äq. bei.

Tabelle 5-3: Fallstudie Moosach, Übersicht Umweltwirkungen gesamt Szenario 2.2; eigene Darstellung

Umweltwirkung	SC 2.2.1	SC 2.2.2	SC 2.2.3	SC 2.2.4
GWP gesamt [t CO₂-Äq.]	13.816,6 (100 %)	36.037,2 (261 %)	6.344,0 (46 %)	16.967,0 (123 %)
GWP gesamt, Abriss Bestand [t CO ₂ -Äq.]	2.451,0	2.463,7	1.308,8	1.325,6
GWP gesamt, Bestand [t CO ₂ -Äq.]	2.228,0	1.258,7	899,0	-359,5
GWP gesamt, Sanierung [t CO ₂ -Äq.]	4.823,3	11.807,9	4.204,9	7.005,0
GWP gesamt, Neubau [t CO ₂ -Äq.]	4.314,3	20.506,9	-68,7	8.996,0
GWP je NRF [t CO₂-Äq./m²_{NRF}]	0,089	0,233	0,041	0,110
GWP je NRF, Abriss Bestand [t CO ₂ -Äq./m ² _{NRF}]	0,016	0,016	0,008	0,009
GWP je NRF, Bestand [t CO ₂ -Äq./m ² _{NRF}]	0,014	0,008	0,006	-0,002
GWP je NRF, Sanierung [t CO ₂ -Äq./m ² _{NRF}]	0,031	0,076	0,027	0,045
GWP je NRF, Neubau [t CO ₂ -Äq./m ² _{NRF}]	0,028	0,132	0,000	0,058

PENRT gesamt [MWh]	32.383,9 (100 %)	124.092,7 (383 %)	4.300,8 (13 %)	42.658,6 (132 %)
PENRT gesamt, Abriss Bestand [MWh]	134,4	381,6	-4.104,5	-3.710,2
PENRT gesamt, Bestand [MWh]	2.174,3	5.465,7	-2.345,1	-23,6
PENRT gesamt, Sanierung [MWh]	14.267,9	35.095,2	11.899,5	17.017,9
PENRT gesamt, Neubau [MWh]	15.807,3	83.150,2	-1.149,1	29.374,5
PENRT je NRF [MWh/m²_{NRF}]	0,209	0,801	0,028	0,275
PENRT je NRF, Abriss Bestand [MWh/m ² _{NRF}]	0,001	0,002	-0,027	-0,024
PENRT je NRF, Bestand [MWh/m ² _{NRF}]	0,014	0,035	-0,015	0,000
PENRT je NRF, Sanierung [MWh/m ² _{NRF}]	0,092	0,227	0,077	0,110
PENRT je NRF, Neubau [MWh/m ² _{NRF}]	0,102	0,537	-0,007	0,190
PET gesamt [MWh]	40.113,5 (100 %)	204.422,5 (510 %)	37.243,0 (93 %)	160.646,3 (400 %)
PET gesamt, Abriss Bestand [MWh]	-6.932,4	-4.968,2	-5.723,5	-5.141,6
PET gesamt, Bestand [MWh]	-2.225,2	6.194,1	-3.358,6	-702,5
PET gesamt, Sanierung [MWh]	17.552,1	54.688,0	16.004,2	40.770,0
PET gesamt, Neubau [MWh]	31.718,9	148.508,6	30.320,9	125.720,4
PET je NRF [MWh/m²_{NRF}]	0,259	1,320	0,240	1,037
PET je NRF, Abriss Bestand [MWh/m ² _{NRF}]	-0,045	-0,032	-0,037	-0,033
PET je NRF, Bestand [MWh/m ² _{NRF}]	-0,014	0,040	-0,022	-0,005
PET je NRF, Sanierung [MWh/m ² _{NRF}]	0,113	0,353	0,103	0,263
PET je NRF, Neubau [MWh/m ² _{NRF}]	0,205	0,959	0,196	0,812

SC 2.2.1: LZPH A1-C4, minimale Umweltwirkungen; SC 2.2.2: LZPH A1-C4, maximale Umweltwirkungen;
SC 2.2.3: LZPH A1-D, minimale Umweltwirkungen; SC 2.2.4: LZPH A1-D, maximale Umweltwirkungen

Der Bedarf an PENRT schwankt deutlich je nach Unterszenario. Die Bilanzierung ergibt hier einen Wertebereich zwischen 4.300,8 (SC 2.2.3) und 124.092,7 MWh (SC 2.2.2) für das gesamte Quartier. Bei der PET liegt der Wertebereich zwischen 37.243,0 und 204.422,5 MWh für die Sanierung, eine 50-jährige Nutzung und eine anschließende Entsorgung der Quartiersgebäude.

Abbildung 5-16 und Abbildung 5-17 illustrieren die prozentualen Anteile der einzelnen Bauteile an den gesamten Umweltwirkungen. Für einen besseren Überblick sind die Bauteile zudem farblich nach ihrer Zugehörigkeit sortiert: Abriss, Bestand, Neubau und Sanierung. Im Bereich der Sanierung verursachen die Maßnahmen an der Außenwand (EWmas_ren) und die Erneuerung der Fenster (W_ren) die größten Grauen Energien und Emissionen. Die Umweltwirkungen des Neubaus hängen stark von der Ausführung der Innenwände (IWwood_nb), des Flachdaches (FROwood_nb) und der Außenwand (EWwood_nb) in Holzrahmenbauweise sowie der Aktivierung der Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale ab. Die Bauteile, die im Zuge der Sanierung sofort abgerissen werden, können beim

5.2 Berechnung und Ergebnisse der Szenarien

GWP, wie bereits erwähnt, signifikanten Einfluss nehmen (21 % im SC 2.2.3). Wenn man die Balkendiagramme der PET betrachtet (Abbildung 5-17, rechts), reduzieren sie das Gesamtergebnis durch Kompensation.

Bei der Betrachtung des PET fällt der hohe Einfluss der Neubauteile auf (73 % bis 81 %). Bei der PENRT erstreckt sich ihr prozentualer Anteil zwischen -27 bis 69 %. Hier greift der Einsatz erneuerbarer Energien bei der Holzwerkstoffproduktion der Holzrahmenbauweise, die weniger kritisch anzusehen ist als der Einsatz nicht erneuerbarer Primärenergien bei anderen Bauweisen.

Wie bei Szenario 2.1 zeigt sich der Einfluss des Fensterersatzes (W_ren) und der Außenwandsanierung (EWmas_ren). Für die ökologische Optimierung der Neubaugeschosse muss besonderes Augenmerk auf die Bauausführungen der Innenwände, der Außenwände und der Flachdächer gelegt werden.

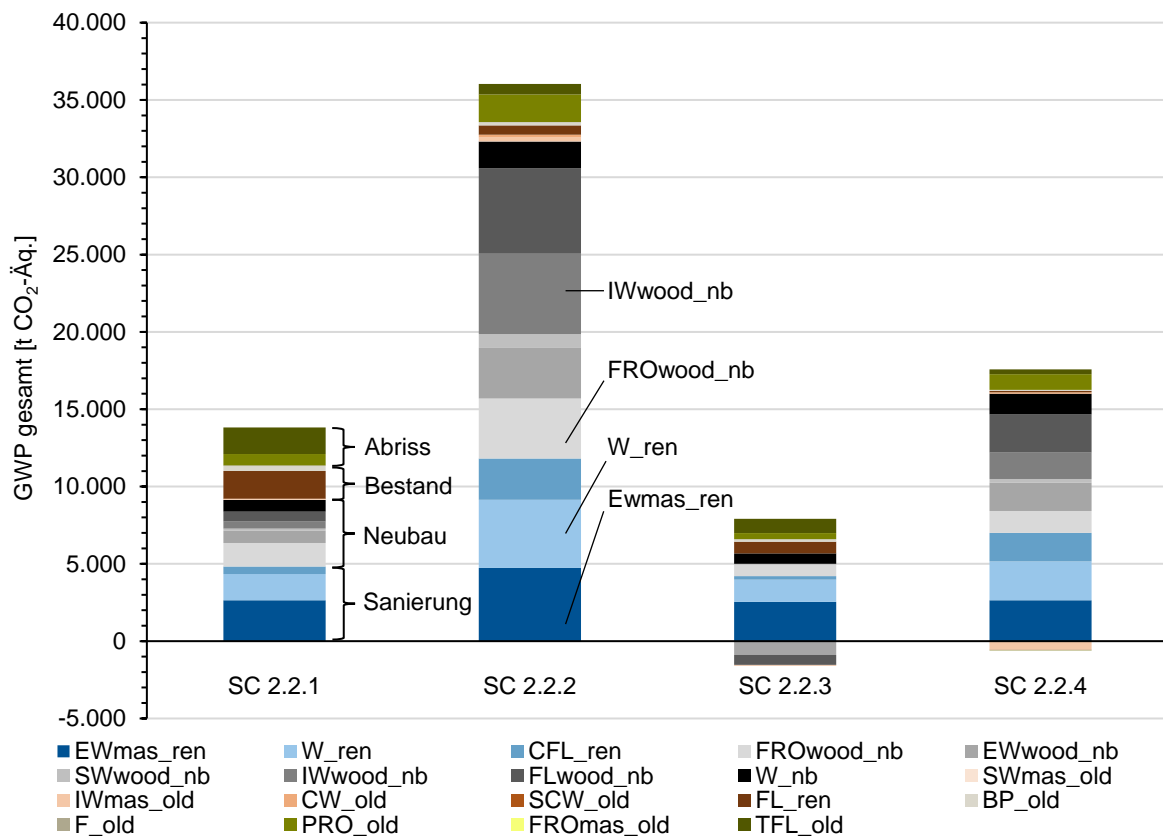


Abbildung 5-16: Fallstudie Moosach, Szenario 2.2.1 bis 2.2.4, GWP je Bauteil bei einem Lebenszyklus von 50 Jahren; eigene Darstellung (Bauteilabkürzungen siehe Tabelle 3-4, Seite 71)

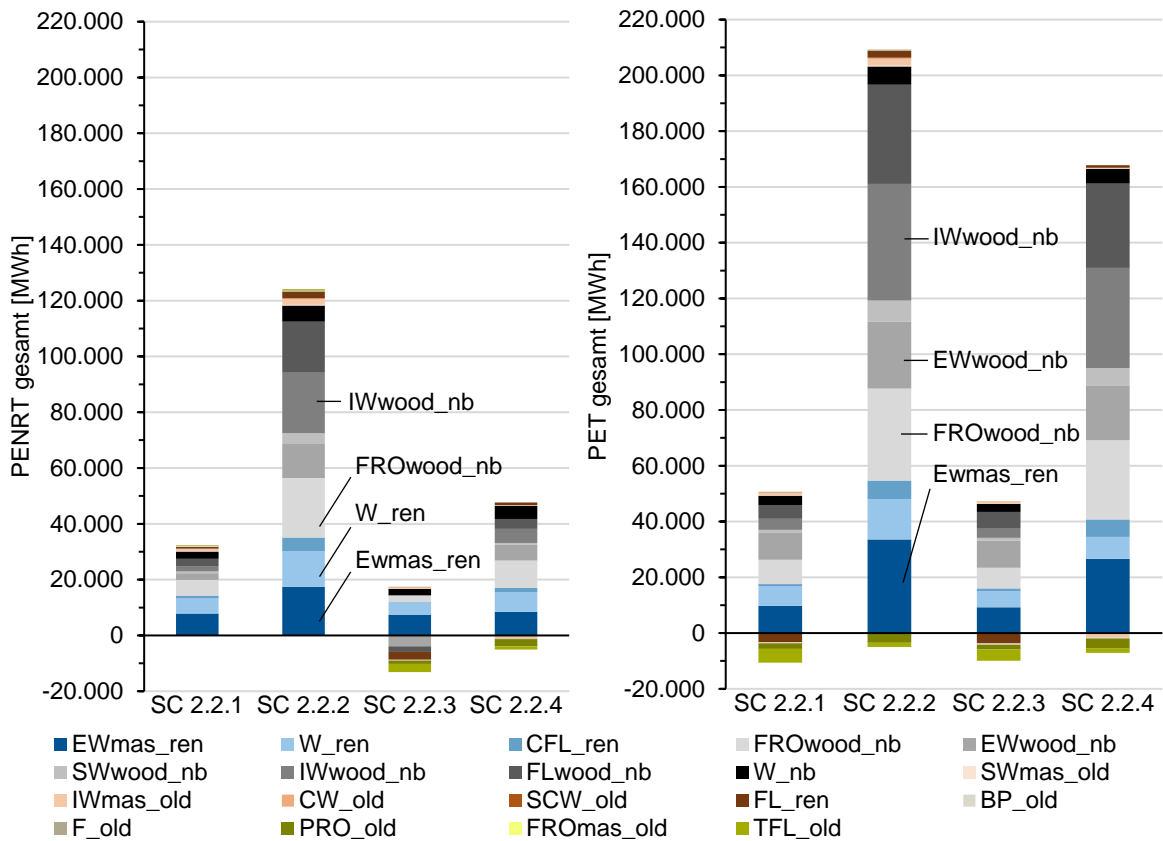


Abbildung 5-17: Fallstudie Moosach, Szenario 2.2.1 bis 2.2.4, PENRT und PET je Bauteil bei einem Lebenszyklus von 50 Jahren; eigene Darstellung (Bauteilabkürzungen siehe Tabelle 3-4, Seite 71)

5.2.5 Ergebnisse Szenario 3.1 – Abriss und Ersatzneubau in Holzbauweise

Szenario 3.1 (SC 3.1.1 bis 3.1.4; vgl. Abbildung 5-18) beschäftigt sich mit den Umweltwirkungen, die bei einem gänzlichen Abriss des Bestandsquartiers und einem Ersatzneubau in Holzbauweise entstehen. Der Ersatzneubau wird 50 Jahre genutzt und anschließend ebenfalls rückgebaut und entsorgt. Die Gesamtergebnisse in den drei betrachteten Umweltwirkungskategorien werden in Tabelle 5-4 aufgelistet.

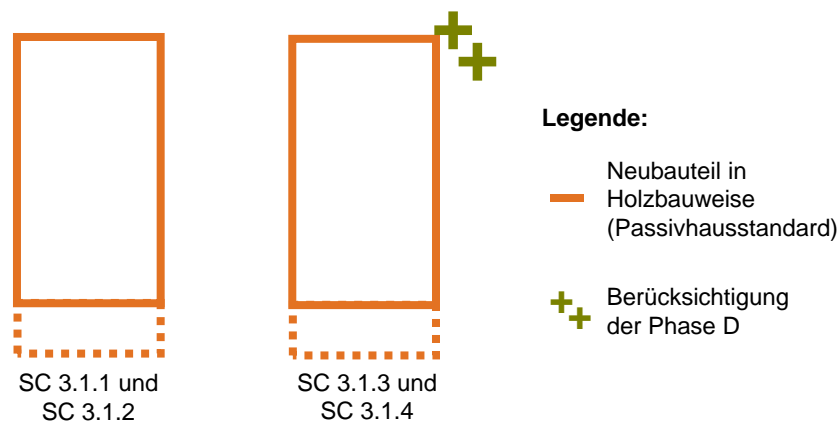


Abbildung 5-18: Skizzenhafte Darstellung Szenario 3.1; eigene Darstellung

5.2 Berechnung und Ergebnisse der Szenarien

Werden die 181 Bestandsgebäude abgerissen und durch Holzgebäude ersetzt, welche die gleiche Grundfläche aber zwei Geschosse mehr als vorher besitzen, so entstehen innerhalb des Betrachtungszeitraums zwischen 5.363,8 (SC 3.1.3) und 79.621,0 t CO₂-Äq. (SC 3.1.2). Bezogen auf eine NRF von 159.540 m² resultieren daraus 0,034 bis 0,499 t CO₂-Äq./m²_{NRF}. Je nach Unterszenario beeinflusst der Bestandsgebäudeabriss das lebenszyklusbasierte GWP prozentual zwischen 2 (SC 3.1.4) und 50 % (SC 3.1.3).

In Tabelle 5-4 werden die großen Streubreiten des Bedarfs an PENRT und PET deutlich. In Abhängigkeit der Szenariwahl schwanken die Ergebnisse bei der PENRT zwischen -0,034 (SC 3.1.3) und 1,736 MWh/m²_{NRF} (SC 3.1.2) und bei der PET zwischen 0,512 (SC 3.1.3) und 2,919 MWh/m²_{NRF} (SC 3.1.2). Die positive PENRT-Bilanz im SC 3.1.3 wird durch die Verdrängung fossiler Energieträger bei der thermischen Verwertung der masseintensiven Holzbauteile an ihrem EoL ermöglicht. Bleiben die bilanziellen Vorteile der Phase D unberücksichtigt, führt dies zu einem signifikanten Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie für das Gesamtquartier von 465.628,9 MWh.

Die hierfür maßgebenden Bauteile werden in Abbildung 5-19 und Abbildung 5-20 sichtbar: die Innenwände (IWwood_nb) und Geschossdecken (FLwood_nb). Zusammen bewirken sie im SC 3.1.2 bereits 47 % des GWP, 51 % der PENRT und 54 % der PET. An dritter Stelle kann noch die Außenwand (EWwood_nb) genannt werden, die im SC 3.1.2 14 % der Grauen Emissionen verursacht. Im Szenario 3.1.3 verändert sich der Einfluss der Außenwand und der Geschossdecken jedoch ins Positive. Somit sind die Ergebnistreiber nicht über alle Szenarien hinweg eindeutig identifizierbar und müssen im Einzelfall näher untersucht werden.

Tabelle 5-4: Fallstudie Moosach, Übersicht Umweltwirkungen gesamt Szenario 3.1; eigene Darstellung

Umweltwirkung	SC 3.1.1	SC 3.1.2	SC 3.1.3	SC 3.1.4
GWP gesamt [t CO₂-Äq.]	20.918,2 (100 %)	79.621,0 (381 %)	5.363,8 (26 %)	30.735,1 (147 %)
GWP gesamt, Abriss Bestand [t CO ₂ -Äq.]	5.716,0	4.754,3	2.671,8	664,8
GWP gesamt, Neubau [t CO ₂ -Äq.]	15.202,2	74.866,7	2.692,1	30.070,3
GWP je NRF [t CO₂-Äq./m²_{NRF}]	0,131	0,499	0,034	0,193
GWP je NRF, Abriss Bestand [t CO ₂ -Äq./m ² _{NRF}]	0,036	0,030	0,017	0,004
GWP je NRF, Neubau [t CO ₂ -Äq./m ² _{NRF}]	0,095	0,469	0,017	0,188
PENRT gesamt [MWh]	53.557,3 (100 %)	276.920,8 (517 %)	-5.468,0 (-10 %)	65.572,7 (122 %)
PENRT gesamt, Abriss Bestand [MWh]	2.625,7	5.795,9	-8.266,7	-8.094,7
PENRT gesamt, Neubau [MWh]	50.931,6	271.124,9	2.798,7	73.667,4

PENRT je NRF [MWh/m²_{NRF}]	0,336	1,736	-0,034	0,411
PENRT je NRF, Abriss Bestand [MWh/m ² _{NRF}]	0,016	0,036	-0,052	-0,051
PENRT je NRF, Neubau [MWh/m ² _{NRF}]	0,319	1,699	0,018	0,462
PET gesamt [MWh]	87.307,0 (100 %)	465.628,9 (533 %)	81.690,5 (94 %)	414.986,5 (475 %)
PET gesamt, Abriss Bestand [MWh]	-11.417,1	1.340,6	-11.618,9	-11.017,3
PET gesamt, Neubau [MWh]	98.724,2	464.288,3	93.309,5	426.003,8
PET je NRF [MWh/m²_{NRF}]	0,547	2,919	0,512	2,601
PET je NRF, Abriss Bestand [MWh/m ² _{NRF}]	-0,072	0,008	-0,073	-0,069
PET je NRF, Neubau [MWh/m ² _{NRF}]	0,619	2,910	0,585	2,670

SC 3.1.1: LZPH A1-C4, minimale Umweltwirkungen; SC 3.1.2: LZPH A1-C4, maximale Umweltwirkungen;
 SC 3.1.3: LZPH A1-D, minimale Umweltwirkungen; SC 3.1.4: LZPH A1-D, maximale Umweltwirkungen

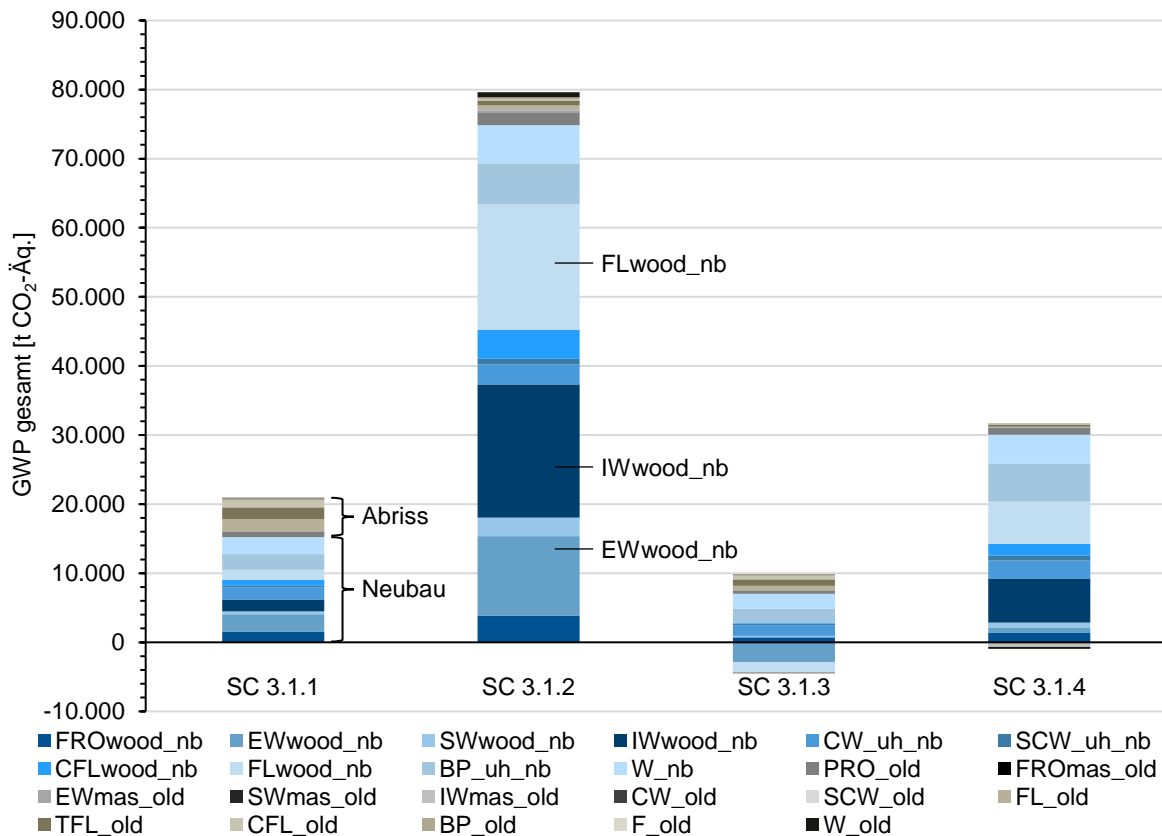


Abbildung 5-19: Fallstudie Moosach, Szenario 3.1.1 bis 3.1.4, GWP je Bauteil bei einem Lebenszyklus von 50 Jahren; eigene Darstellung (Bauteilabkürzungen siehe Tabelle 3-4, Seite 71)

Als Handlungsempfehlung kann für dieses Szenario festgehalten werden, dass bei der Realisierung von Holzgebäuden zwingend die Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale der Phase D in die Diskussion einbezogen werden müssen. Ansonsten sind die Vorteile dieser Bauweise nicht zu erkennen.

Daneben ist Holzbauweise nicht gleich Holzbauweise. Durch den höheren Holzanteil benötigt die Holzmassivbauweise beispielsweise in den Phasen A1 bis A3 deutlich mehr an erneuerbarer Primärenergie als die Holzrahmenbauweise (Stichwort: Baumwachstum und

5.2 Berechnung und Ergebnisse der Szenarien

eingespeicherte Sonnenenergie). Hierbei muss diskutiert werden, ob der erneuerbare Anteil ebenso gewichtet wird, wie der nicht erneuerbare Anteil an Primärenergie. Die Holzmassivbauweise bewirkt aber nicht zwingend höhere Umweltwirkungen als die Holzrahmenbauweise. Je Bauteil werden andere bauphysikalische und konstruktive Anforderungen an den Schichtenaufbau gestellt, die einmal mit dem Holzrahmen- und einmal mit dem Holzmassivbau einfacher gelöst werden können. Bei der Außenwand verursacht eine Außenwand in Holzmassivbauweise die höchsten Umweltwirkungen, bei der obersten Geschosdecke eine Holzrahmenbaukonstruktion (vgl. Anhang A.3 ab Seite 296, Bauteile „EWwood_4“ und „TFLwood_2“). Deshalb muss die ökologische Optimierung spezifisch auf der Bauteilebene erfolgen.

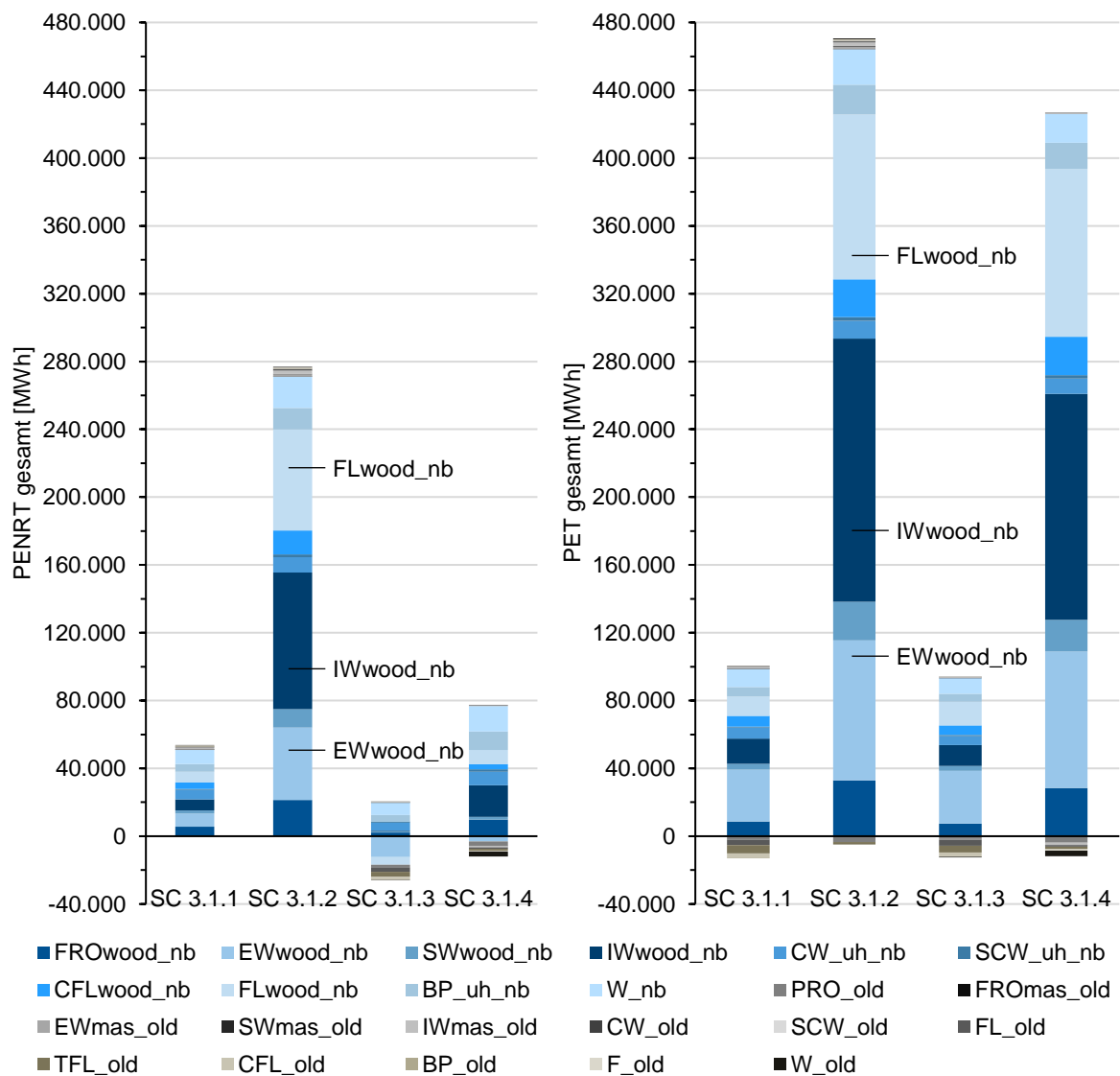


Abbildung 5-20: Fallstudie Moosach, Szenario 3.1.1 bis 3.1.4, PENRT und PET je Bauteil bei einem Lebenszyklus von 50 Jahren; eigene Darstellung (Bauteilabkürzungen siehe Tabelle 3-4, Seite 71)

5.2.6 Ergebnisse Szenario 3.2 – Abriss und Ersatzneubau in Massivbauweise

Der Abriss des Bestandsquartiers und dessen Ersatz durch Massivbaugebäude wird im Szenario 3.2 (SC 3.2.1 bis 3.2.4; vgl. Abbildung 5-21) diskutiert. Wie im Szenario 3.1 besitzen die neuen Gebäude dieselben Grundflächen wie die Bestandsgebäude, aber sie sind höher. Tabelle 5-5 listet die Gesamtergebnisse des GWP, der PENRT und PET auf. Je nach Unterszenario ergibt sich ein GWP zwischen 30.722,4 und 91.371,9 t CO₂-Äq. für das Quartier innerhalb des Betrachtungszeitraums. Bezogen auf das Szenario SC 3.2.1 schwanken die Ergebnisse zwischen 86 und 255 %. Bei gleicher NRF wie im Szenario 3.1 resultieren daraus 0,193 bis 0,573 t CO₂-Äq./m²_{NRF}. Je nach Unterszenario bedingt der Bestandsabriss (gleiches GWP wie im SC 3.1) einen Anteil von 1 bis 16 % am gesamten GWP.

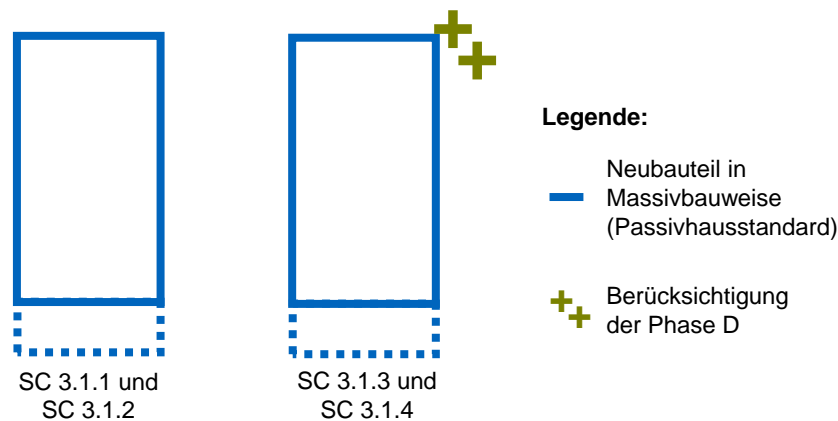


Abbildung 5-21: Skizzenhafte Darstellung Szenario 3.2; eigene Darstellung

Tabelle 5-5: Fallstudie Moosach, Übersicht Umweltwirkungen gesamt Szenario 3.2; eigene Darstellung

Umweltwirkung	SC 3.2.1	SC 3.2.2	SC 3.2.3	SC 3.2.4
GWP gesamt [t CO₂-Äq.]	35.870,7 (100 %)	91.371,9 (255 %)	30.722,4 (86 %)	76.863,3 (214 %)
GWP gesamt, Abriss Bestand [t CO ₂ -Äq.]	5.716,0	4.754,3	2.671,8	664,8
GWP gesamt, Neubau [t CO ₂ -Äq.]	30.716,0	86.617,6	28.050,6	76.198,5
GWP je NRF [t CO₂-Äq./m²_{NRF}]	0,225	0,573	0,193	0,482
GWP je NRF, Abriss Bestand [t CO ₂ -Äq./m ² _{NRF}]	0,036	0,030	0,017	0,004
GWP je NRF, Neubau [t CO ₂ -Äq./m ² _{NRF}]	0,189	0,543	0,176	0,478
PENRT gesamt [MWh]	87.001,7 (100 %)	229.541,8 (264 %)	67.855,7 (78 %)	174.144,2 (200 %)
PENRT gesamt, Abriss Bestand [MWh]	2.625,7	5.795,9	-8.266,7	-8.094,7
PENRT gesamt, Neubau [MWh]	84.376,0	223.745,9	76.122,4	182.238,9

5.2 Berechnung und Ergebnisse der Szenarien

PENRT je NRF [MWh/m²_{NRF}]	0,545	1,439	0,425	1,092
PENRT je NRF, Abriss Bestand [MWh/m ² _{NRF}]	0,016	0,036	-0,052	-0,051
PENRT je NRF, Neubau [MWh/m ² _{NRF}]	0,529	1,402	0,477	1,142
PET gesamt [MWh]	90.259,4 (100 %)	317.571,5 (352 %)	79.939,9 (89 %)	258.736,4 (287 %)
PET gesamt, Abriss Bestand [MWh]	-11.417,1	1.340,6	-11.618,9	-11.017,3
PET gesamt, Neubau [MWh]	101.676,5	316.230,9	91.558,8	269.753,7
PET je NRF [MWh/m²_{NRF}]	0,566	1,991	0,501	1,622
PET je NRF, Abriss Bestand [MWh/m ² _{NRF}]	-0,072	0,008	-0,073	-0,069
PET je NRF, Neubau [MWh/m ² _{NRF}]	0,637	1,982	0,574	1,691

SC 3.2.1: LZPH A1-C4, minimale Umweltwirkungen; SC 3.2.2: LZPH A1-C4, maximale Umweltwirkungen;
SC 3.2.3: LZPH A1-D, minimale Umweltwirkungen; SC 3.2.4: LZPH A1-D, maximale Umweltwirkungen

Auch bezogen auf die Ergebnisse der PENRT und PET bleiben die massiven Neubauteile die maßgebenden Treiber der Umweltwirkungen. Zwar kann zunächst mit dem Gebäudeabriss – vornehmlich durch die Berücksichtigung der Phase D – PENRT und PET kompensiert werden, jedoch steigt deren Bedarf mit den neuen Massivbaukonstruktionen wieder. 97 (SC 3.2.1) bis 112 % (SC 3.2.2) der PENRT und 100 (SC 3.2.2) bis 115 % (SC 3.2.3) der PET ergeben sich durch den Neubau. Insgesamt erstrecken sich die Grauen Energien zwischen 67.855,7 und 229.541,8 MWh bei der PENRT und zwischen 79.939,9 (SC 3.2.3) und 317.571,5 MWh (SC 3.2.2) bei der PET.

Unter Berücksichtigung der Abbildung 5-22 und Abbildung 5-23 zeigen sich die neuen und massiven Außenwände (EW_{mas_nb}), Innenwände (IW_{mas_nb}) und Geschosdecken (FL_{mas_nb}) als maßgebende Bauteile. Sie bedingen je nach Unterszenario 48 bis 65 % des GWP, 53 bis 63 % der PENRT und 63 bis 68 % der PET. Dieser Einfluss ist im Wesentlichen auf ihre großen Flächenanteile (Innenwand: 39 %; Außenwand 15 %; Geschosdecken 19 %) und nicht auf die Umweltwirkungen je m²_{Bauteil} zurückzuführen.

Mit Blick auf die spezifischen Umweltwirkungen je m²_{Bauteil} treten die Bodenplatten (BP_{uh_nb}; Flächenanteil: 4 %), die Kellerdecken (CFL_{mas_nb}; Flächenanteil: 4 %), die Flachdächer (FRO_{mas_nb}; Flächenanteil: 4 %) oder die Fenster (W_{nb}; Flächenanteil: 3 %) in den Vordergrund. Trotz ihres geringen Flächenanteils bei den Neubaugebäuden beeinflussen sie die Grauen Emissionen und Energien signifikant (siehe Tabelle 5-6, Seite 162). Vor allem die lebenszyklusbasierten Umweltwirkungen des Flachdaches sind je m²_{Bauteil} hoch (siehe Tabelle A. 53 auf Seite 444; z.B. GWP gesamt ohne Phase D von 120,0 bis 193,8 kg CO₂-Äq./m²_{Bauteil}; PENRT gesamt ohne Phase D von 1.578,4 bis 3.270,3 MJ/m²_{Bauteil}).

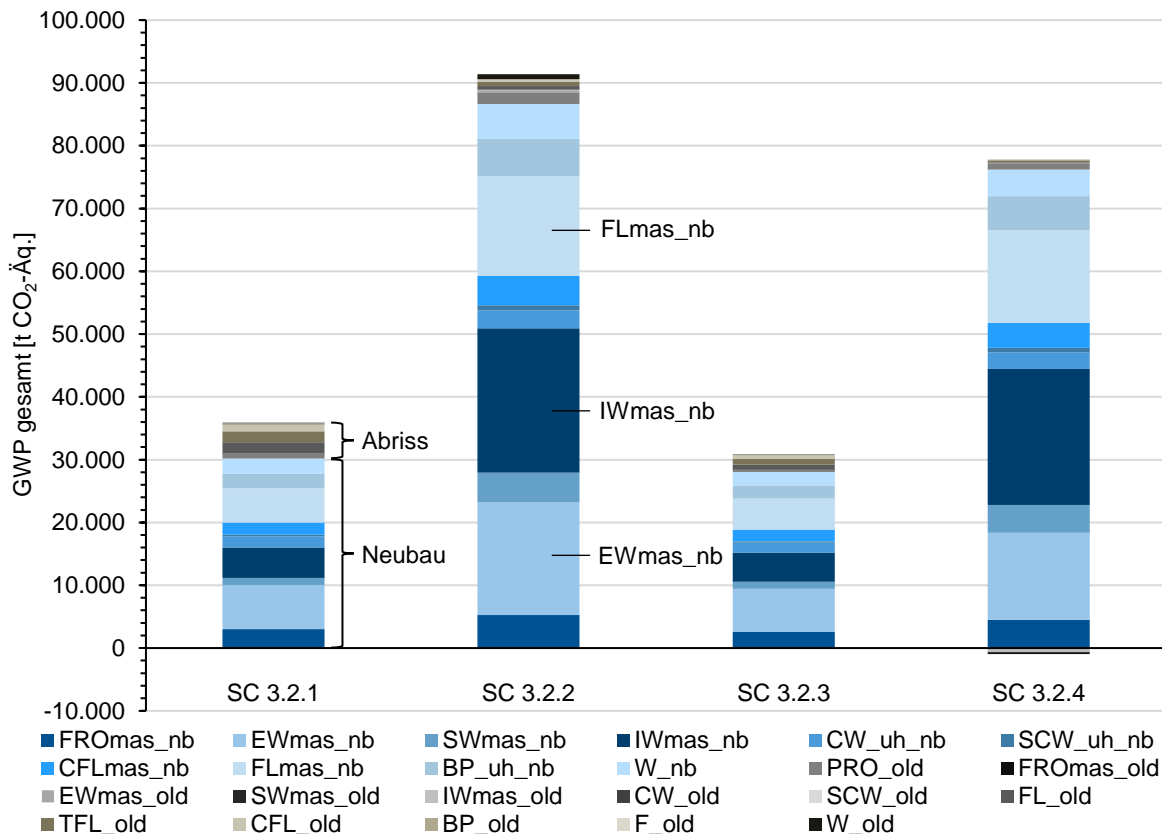


Abbildung 5-22: Fallstudie Moosach, Szenario 3.2.1 bis 3.2.4, GWP je Bauteil bei einem Lebenszyklus von 50 Jahren; eigene Darstellung (Bauteilabkürzungen siehe Tabelle 3-4, Seite 71)

Zusammenfassend kann für das Szenario der Massivbauweise festgehalten werden, dass die Ergebnisse der Grauen Energien und Emissionen zwischen den Unterszenarien weniger schwanken als bei Szenario 3.1. Die Umweltwirkungen, die durch den Abriss der Bestandsgebäude entstehen, nehmen gegenüber den Umweltwirkungen der Neubauteile einen geringen Einfluss. Um die ökologische Qualität der Neubaugebäude zu verbessern, muss die Baustoffwahl und die Dimensionierung der Bauteile betrachtet werden, welche die größten Flächenanteile besitzen (hier: Außenwände, Innenwände und Geschosdecken). Ferner können auch Einzelbauteile mit geringen Flächenanteilen, insbesondere die Flachdächer, die Gesamtergebnisse signifikant beeinflussen. Hier gilt es ebenfalls den Bauteilschichtenaufbau nach ökologischen Kriterien zu optimieren.

5.2 Berechnung und Ergebnisse der Szenarien

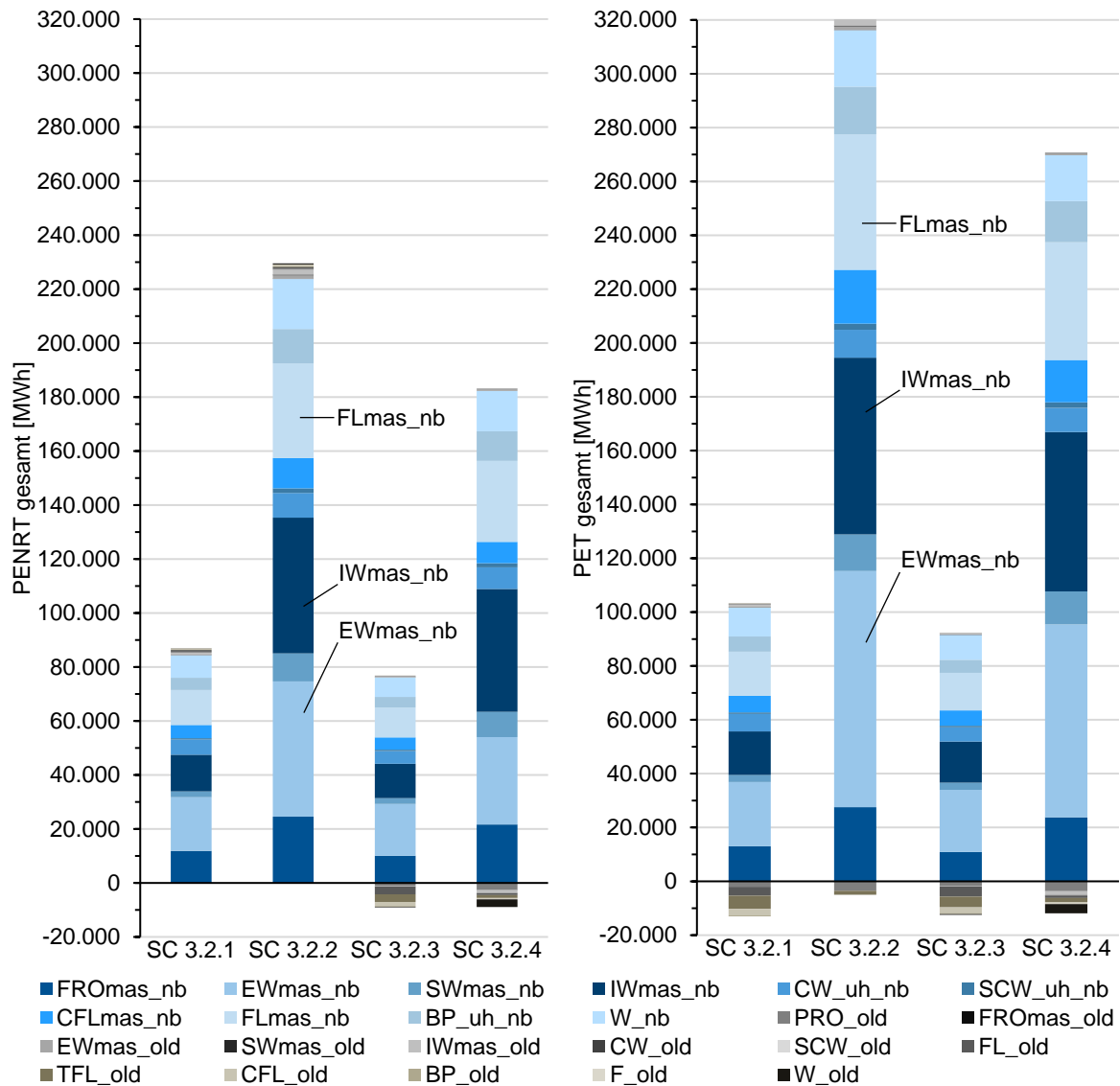


Abbildung 5-23: Fallstudie Moosach, Szenario 3.2.1 bis 3.2.4, PENRT und PET je Bauteil bei einem Lebenszyklus von 50 Jahren; eigene Darstellung (Bauteilabkürzungen siehe Tabelle 3-4, Seite 71)

Tabelle 5-6: Fallstudie Moosach, Szenario 3.2, prozentuale Anteile einzelner Bauteile an den Grauen Energien und Emissionen des Gesamtquartiers; eigene Darstellung

Bauteil	%-Anteil am gesamten GWP je Szenario	%-Anteil am gesamten PENRT je Szenario	%-Anteil am gesamten PET je Szenario
BP_uh_nb	6,3 – 7,1	5,2 – 6,3	5,9 – 6,3
FROmas_nb	5,7 – 8,4	10,7 – 14,8	8,7 – 14,4
CFLmas_nb	5,1 – 6,1	4,6 – 6,7	6,1 – 7,1
W_nb	5,5 – 7,0	8,1 – 10,6	6,6 – 11,9

5.3 Vergleichende Flächenberechnung

Durch die Verwendung der automatisch ermittelten Gebäudehüllflächen des 3D-Stadtmodells (Szenario 1 – Status Quo) und die ergänzenden Annahmen zu den innenliegenden Bauteilflächen entstehen gegenüber einer manuellen Flächenermittlung weitere Unsicherheiten beim Gesamtergebnis. Deshalb wird im Rahmen dieses Kapitels ein Vergleich der automatisierten und manuellen Bauteilflächenermittlung am Beispiel eines Einzelgebäudes geführt. Es wird diskutiert, ob sich die daraus ergebenden Unsicherheiten im Rahmen der Standardabweichungen bewegen und tolerierbar sind oder nicht.

Bei dem Einzelgebäude aus dem Moosacher Quartier handelt es sich um ein Reihenmittelhaus (MFH) aus der Baualtersklasse 2 (Baujahr ca. 1945) in Massivbauweise. Das Gebäude verfügt über ein Kellergeschoss, drei Vollgeschosse und zwei Dachgeschosse (siehe Abbildung 5-24). Zur manuellen Flächenerhebung werden die originalen Archivpläne des Gebäudes verwendet, die von der LHM zur Verfügung gestellt wurden (Bauplanakte, Abg. 78/1, Bd. 18). Das Gebäude besitzt keine Balkone, die berücksichtigt werden müssten. Die Treppen werden zugunsten der Geschossdecken übermessen. Ansonsten werden alle Fenster vom KG bis DG (auch Dachgaubenfenster) in die Flächenermittlung einbezogen.

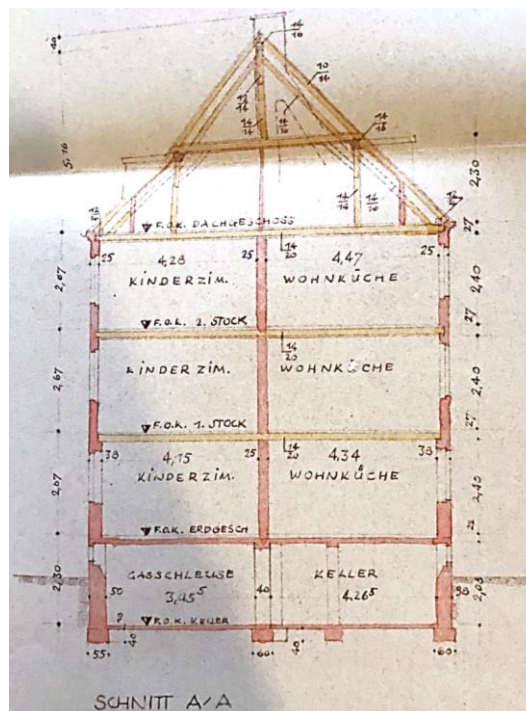


Abbildung 5-24: Schnitt eines Reihenmittelhauses im Stadtquartier Moosach, Baujahr ca. 1945; Kopie aus Bauplanakte, Abg. 78/1, Bd. 18

Tabelle 5-7 zeigt die finale Gegenüberstellung der automatisch und manuell erhobenen Bauteilflächen. Mit der automatisierten Flächenberechnung werden gegenüber der manuellen insgesamt 391,7 m² mehr an Bauteilflächen ermittelt.

Beim Steildach, der Bodenplatte und den Fundamenten ist die Abweichung zwischen manueller und automatisierter Flächenberechnung mit maximal 4,9 % gering.

Die größte prozentuale Abweichung besteht bei den Fenstern mit 43,4 %. Dies resultiert aus der Berücksichtigung der Keller- und Dachfensterflächen bei der manuellen Berechnung, die bei der automatisierten Berechnung übermessen werden. Würde man diese Fensterflächen abziehen, läge die Abweichung nur noch bei 25,1 %. Um die Fensterflächen anzugleichen, müsste man bei der automatisierten Berechnung den Fensterflächenanteil (WTWR_MFH) von 15 auf 22 % erhöhen.

Entgegen der Fensterfläche ist die Fläche der Geschossdecken bei der automatisierten Berechnung größer als bei der manuellen. Durch die vereinfachte Ermittlung der Geschossdeckenflächen wird eine Geschossdecke mehr erhoben als in der Realität vorhanden ist. Dies hebt sich teilweise wieder auf, da bei der automatisierten Berechnung die Dachgeschossdecke in der Dachspitze unberücksichtigt bleibt.

Ein Grund für die abweichenden Außenwand- und Kellerwandflächen ist die Lage des Kellergeschosses. Dieses ragt beim Beispielgebäude zu ca. einem Drittel über die GOK hinaus, sodass sie bei der automatisierten Berechnung zu den Außenwänden, bei der manuellen aber zu den Kellerwänden gezählt wird.

Auch das Verhältnis von Innenwand- zu Außenwandflächen ist mit 1,14 in der Realität geringer als das Verhältnis, das in die Berechnungslogiken einfließt (1,34). In Kapitel 4.7.1 (siehe ab Seite 125) wird bereits darauf hingewiesen, dass diese Unsicherheit besteht und dass dieser Faktor projektspezifisch überprüft und angepasst werden sollte.

Tabelle 5-7: Vergleichende Bauteilflächenberechnung, Gegenüberstellung der manuellen und automatisierten Berechnung; eigene Darstellung

Bauteil	Manuell ermittelte Gesamtfläche [m ²]	Automatisiert errechnete Gesamtfläche [m ²]	Abweichung manuell zu automatisiert [%]
Steildach (PRO)	193,6	186,9	3,6
Außenwand (Ewmas)	187,7	214,2	-12,4
Gebäudetrennwand über GOK (Swmas)	176,1	225,3	-21,8
Innenwand (Iwmas)	569,1	767,5	-25,9
Kelleraußenwand (CW)	59,8	50,4	18,7
Gebäudetrennwand unter GOK (SCW)	39,7	45,1	-12,0
Geschossdecken (FL)	276,1	386,5	-28,6
Oberste Geschossdecke (TFL)	107,1	128,8	-16,8
Kellerdecke (CFL)	112,2	128,8	-12,9
Bodenplatte (BP)	131,1	128,8	1,8
Fundament (F)	36,5	34,8	4,9
Fenster (W)	54,2	37,8	43,4
Gesamtfläche	1.943,2	2.334,9	-16,8

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die automatisierte Flächenberechnung nicht die Genauigkeit einer manuellen Flächenberechnung erreicht. Inwiefern dies zu tolerieren ist, wird

mit Hilfe der Tabelle 5-8 diskutiert. Sie stellt die Wertebereiche des Szenarios 1 unter Berücksichtigung der beiden Flächenberechnungen gegenüber.

Tabelle 5-8: Gegenüberstellung der Gesamtergebnisse, Szenario 1 des Einzelgebäudes, GWP, PENRT und PET nach manueller und automatisierter Flächenberechnung; eigene Darstellung

Gesamtergebnis Szenario 1	GWP [t CO ₂ -Äq.]	PENRT [MWh]	PET [MWh]
SC1.1_man	54,1	146,5	198,6
SC1.1_auto	65,5	175,0	235,5
%-Abweichung SC 1.1	-17,4%	-16,3%	-15,7%
SC1.2_man	163,6	404,3	502,7
SC1.2_auto	193,7	466,2	576,7
%-Abweichung SC 1.2	-15,6%	-13,3%	-12,8%
SC1.3_man	37,2	87,1	201,2
SC1.3_auto	45,4	105,5	237,9
%-Abweichung SC 1.3	-18,2%	-17,5%	-15,4%
SC 1.4_man	141,9	328,1	442,6
SC1.4_auto	172,2	391,5	524,3
%-Abweichung SC 1.4	-17,6%	-16,2%	-15,6%
Mittelwert SC1_man	99,2 ± 54,4	241,5 ± 129,3	336,3 ± 138,0
Mittelwert SC1_auto	119,2	284,6	393,6

Würde man bei der Szenarienberechnung die manuelle Flächenberechnung zugrunde legen, würden die lebenszyklusbasierten Grauen Emissionen und Energien des Gebäudes zwischen 12,8 und 18,2 % geringer ausfallen. Die Umweltwirkungen der Einzelbauteile variieren jedoch stärker als die Flächenberechnungen. Die Ergebnisdifferenz zwischen manueller und automatisierter Flächenberechnung ist geringer als die Standardabweichungen beim GWP (55 % vom Mittelwert), bei der PENRT (54 % vom Mittelwert) und bei der PET (41 % vom Mittelwert). D. h. dass die Streubreiten der minimalen und maximalen Umweltwirkungen je Bauteilfläche mehr Einfluss auf die Ergebnisvarianz nehmen, als die Unsicherheiten bei der automatisierten Flächenberechnung.

Die Unsicherheiten der automatisierten Flächenberechnung können daher toleriert werden. Jedoch sollten sie projektspezifisch reduziert werden, indem beispielsweise die Fensterflächenanteile sowie das Verhältnis von Innenwand- zu Außenwandflächen genauer bestimmt werden.

5.4 Sensitivitätsanalyse

5.4.1 Methodische Grundlagen

Wie in Kapitel 2.6.1 auf Seite 36 erörtert, dient eine Sensitivitätsanalyse zur Identifizierung stark variierender Eingangsparameter und deren Einfluss auf das Gesamtergebnis. Die Sensitivitätsanalyse des Fallbeispiels konzentriert sich auf die Szenarien 2.2.1 und 2.2.2 – Sanierung mit Aufstockung in Holzrahmenbauweise ohne Phase D – und das GWP als Umweltwirkung. Ergänzend zur Unsicherheitsbetrachtung der Flächenberechnung (siehe Kapitel 5.3 ab Seite 163) wird mit dieser Sensitivitätsanalyse der Einfluss des variierenden GWP einzelner Bauteile untersucht. Zudem wird diskutiert, wie sich die Annahmen zu den Flächenverhältnissen – Fensterflächenanteil, Verhältnis Fundament- zu Bodenplattenfläche und Verhältnis Innenwand- zu Außenwandfläche – auf das Gesamtergebnis auswirken und ob es Interaktionen zwischen den einzelnen Parametern gibt.

Als Methode wird die Sobol Sensitivitätsanalyse (engl. „Sobol Sensitivity Analysis“) nach Saltelli et al. (2010) gewählt. Hierbei handelt es sich um eine varianzbasierte Methode, die sich bei der Untersuchung von Gebäudeenergiemodellen etabliert hat und auch für die Untersuchung der Unsicherheiten bei Energiebedarfsberechnungen und Lebenszyklusanalysen geeignet ist. (Dotzler et al., 2018; Harter, Singh et al., 2020; Menberg et al., 2016; Schneider-Marín et al., 2020)

Die Eignung der Methode als Sensitivitätsanalyse für LCA auf Quartiersebene bestätigt die Dissertation von Harter (2021).

Ein wesentlicher Vorteil dieser varianzbasierten Methode ist die Analysemöglichkeit, inwiefern ein einzelner Input-Parameter die Varianz des Gesamtergebnisses beeinflusst. Gleichzeitig erlaubt es die Methode die Interaktionen einzelner Parameter zu erkennen. (Zhang et al., 2015)

Diese Eigenschaft wird benötigt, um die Sensitivitäten bei der Berechnungslogik der Szenarien 2.2.1 und 2.2.2 identifizieren zu können. Die Sensitivitätsanalyse erfolgt mit Hilfe der Sensitivitätsindizes S_1 (Effekt erster Ordnung) und S^T (Gesamteffekt).

Zunächst werden die variierenden Input-Parameter sowie ihre Wertebereiche bestimmt (siehe nachfolgendes Kapitel). Darauf aufbauend werden gleichmäßig verteilte Zufallsexperimente mit Hilfe eines „Sobol Sampling“ (siehe Kapitel 2.6.2 auf Seite 37) erzeugt, das in der Programmiersprache Python unter Verwendung der „Sensitivity Analysis Library (SALib)“ programmiert wird (Herman und Usher, 2021). Durch das gleichmäßige Variieren eines jeden Input-Parameters innerhalb der definierten Wertebereiche entstehen insgesamt 26.500 Zufallsexperimente bzw. Methodendurchläufe. Diese werden in einer csv-Datei gebündelt. Anschließend wird unter Berücksichtigung eines jeden Zufallsexperiments die LCA des Szenarios 2.2 für jedes einzelne der 181 Gebäude im Quartier berechnet. Das GWP des Quartiers – also der Summenwert aus den 181 Einzelgebäuden – ist als

Gesamtergebnis definiert. Aus 26.500 Zufallsexperimenten resultieren demnach 26.500 Gesamtergebnisse.

Der Index S_1 beschreibt den direkten Einfluss eines variierenden Inputparameters auf die Varianz des Gesamtergebnisses (hier: GWP des Quartiers). Dabei wird er durch den Wertebereich der Gesamtvarianz normiert und besitzt einen Wertebereich zwischen Null und Eins. Reduziert wird der Effekt erster Ordnung, wenn der Variationsbereich des Input-Parameters verringert wird, der den größten Einfluss auf die Varianz des Gesamtergebnisses nimmt. Umgekehrt ist der Wert von S_1 eines Input-Parameters umso höher, je größer dessen Einfluss auf die Varianz des Gesamtergebnisses ist. (Harter, 2021; Menberg et al., 2016; Saltelli et al., 2010)

Die Analyse von S_1 hilft demnach, die Input-Parameter zu erkennen, die durch ihr Variieren die Varianz des Gesamtergebnisses bzw. des Modell-Outputs signifikant beeinflussen. (Harter, 2021; Saltelli und Tarantola, 2002; Saltelli et al., 2008)

Der Index S^T beschreibt den Gesamteffekt eines Input-Parameters, inklusive seiner Wechselwirkungen mit anderen Input-Parametern. Somit handelt es sich um einen Effekt höherer Ordnung. Der Wertebereich bewegt sich ebenfalls zwischen Null und Eins. Mit zunehmender Interaktion des einzelnen Input-Parameters mit anderen Input-Parametern nähert sich S^T dem Wert eins an. (Harter, 2021)

Bei welchem Wert von S_1 oder S^T ein Input-Parameter keinen signifikanten Einfluss mehr auf das Gesamtergebnis nimmt, ist nicht offiziell definiert. Jedoch wird in der Fachwelt häufig 0,05 als Grenzwert akzeptiert. Das bedeutet, dass der Einfluss von Input-Parametern mit Werten von S_1 oder S^T kleiner als 0,05 vernachlässigt werden kann. Diese Annahme trifft allerdings nur zu, wenn es sich um komplexe Modelle mit einer großen Anzahl an Input-Parametern handelt. (Zhang et al., 2015)

Um die Sensitivitätsanalyse durchführen zu können, werden die 26.500 Berechnungsergebnisse für das GWP des Quartiers über eine csv-Datei aus urbi+ exportiert und mit Hilfe der SALib ausgewertet. Daraus resultieren für jeden variierenden Input-Parameter die Indizes S_1 und S^T .

5.4.2 Variierende Eingangsparameter

Für die Sensitivitätsanalyse wird das baualtersklassen- und bauteilspezifische GWP variiert. Der Fensterflächenanteil („WTWR_MFH“) streut in einem vordefinierten Wertebereich. Auch die Verhältnisse zwischen Fundament- und Bodenplattenflächen (FTBP) bzw. zwischen Innenwand- und Außenwandflächen (IWTEW_MFH) variieren bei den MFH im Quartier. Tabelle 5-9 zeigt die gewählten 52 Input-Parameter mit ihren Wertebereichen, die sich aus den Berechnungslogiken der Szenarien 2.2.1 und 2.2.2 für das Fallbeispiel „Moosach“ ergeben (vgl. Anhänge A.9 ab Seite 469 und A.10 ab Seite 488).

5.4 Sensitivitätsanalyse

Tabelle 5-9: Sensitivitätsanalyse, Minimal- und Maximalwerte der Input-Parameter (GWP in kg CO₂-Äq./m²Bauteil; Flächenverhältnisse dimensionslos); eigene Darstellung (Bauteilabkürzungen siehe Tabelle 3-4, Seite 71)

Parameter	min	max	Parameter	min	max
PRO_old_2_GWP	28,800	42,000	FL_old_ren_3_GWP*	14,100	31,200
PRO_old_3_GWP	8,300	63,600	FL_old_ren_4_GWP*	14,100	31,200
PRO_old_4_GWP	26,700	62,400	FL_old_2_GWP**	1,100	20,700
FROmas_old_2_GWP	-0,005	0,005	FL_old_3_GWP**	12,200	31,200
FROmas_old_3_GWP	1,900	2,600	FL_old_4_GWP**	12,200	31,200
FROmas_old_4_GWP	1,900	103,300	FLwood_tf_nb_GWP	11,800	101,700
FROwood_tf_nb_GWP	56,300	143,500	TFL_old_2_GWP	63,000	74,900
EWmas_ren_2_GWP	40,800	71,400	TFL_old_3_GWP	3,100	54,500
EWmas_ren_3_GWP	40,800	74,100	TFL_old_4_GWP	3,100	71,000
EWmas_ren_4_GWP	40,300	72,300	CFL_uh_ren_2_GWP	35,400	128,300
EWwood_tf_nb_GWP	25,700	106,300	CFL_uh_ren_3_GWP	10,000	128,300
SWmas_old_2_GWP	0,100	0,200	CFL_uh_ren_4_GWP	10,000	51,400
SWmas_old_3_GWP	0,100	0,200	BP_old_2_GWP	3,200	29,000
SWmas_old_4_GWP	0,100	0,200	BP_old_3_GWP	3,900	5,800
SWwood_tf_nb_GWP	9,800	60,300	BP_old_4_GWP	3,900	11,800
IWmas_old_2_GWP	0,400	0,500	F_old_2_GWP	0,000	8,000
IWmas_old_3_GWP	0,400	1,800	F_old_3_GWP	3,500	8,000
IWmas_old_4_GWP	0,400	1,800	F_old_4_GWP	2,000	3,500
IWwood_tf_nb_GWP	6,600	75,900	W_ren_2_GWP	147,300	403,600
CW_old_2_GWP	0,200	8,500	W_ren_3_GWP	147,300	403,600
CW_old_3_GWP	0,200	9,700	W_ren_4_GWP	147,300	403,600
CW_old_4_GWP	0,200	9,700	W_nb_GWP	140,300	318,800
SCW_old_2_GWP	0,195	0,205	WTWR_MFH_V0_V1	0,100	0,300
SCW_old_3_GWP	0,200	0,800	FTBP	0,135	0,405
SCW_old_4_GWP	0,200	0,800	IWTEW_MFH	0,670	2,010
FL_old_ren_2_GWP*	1,100	20,700	IWTEW_MFH	0,670	2,010

* Geschossdecke, die nicht energetisch saniert wird, aber im Bestand für die nächsten 50 Jahre verbleibt

** Geschossdecke, die im Zuge der Sanierung abgerissen wird

Die minimalen und maximalen GWP-Werte resultieren aus der Summe der jeweils zu berücksichtigenden LZPH der Szenarien. Die Definition der Bauteilbezeichnungen (Abkürzungen) findet sich in Tabelle 3-4 auf Seite 71. Das Suffix „_old“ weist darauf hin, dass es sich um eine Bestandskonstruktion handelt, die abgerissen wird oder unverändert bestehen bleibt. Der Index „_2“ beschreibt die baualtersklassenspezifischen GWP-Werte der BK 2, „_3“ die der BK 3 und „_4“ die der BK 4. Bezieht sich der GWP-Wert auf eine Sanierungskonstruktion, erhält er den Index „_ren“. Verfügt der Input-Parameter in seiner Bezeichnung über ein „_nb“, deutet dies auf das GWP einer Neubaukonstruktion hin – in diesem Fall auf ein Bauteil in Holzrahmenbauweise (timber frame; „_tf“). Da z. B. die Steildächer (PRO_old) im Szenario 2.2 abgerissen werden, wird das minimale und maximale GWP aus den LZPH C3 und C4 je Baualtersklasse ermittelt und hinterlegt. Der Wertebereich der neuen Außenwand in Holzrahmenbauweise (EWwood_tf_nb) umfasst die Summe des GWP der LZPH A1, A2, A3, B4, C3 und C4. Die für die Summenbildung verwendeten Einzelwerte je Bauteil

und Baualtersklasse sind in den Bauteiltabellen in den Anhängen A.6 bis A.8 ab Seite 399 zu finden. Bei den Flächenverhältnissen werden die Wertebereiche in Abhängigkeit der identifizierten Durchschnittswerte gewählt (vgl. Kapitel 4.3.1 bis 4.3.3 ab Seite 113).

5.4.3 Ergebnis, Auswertung und Diskussion

Für die Diskussion werden die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse grafisch ausgewertet. Abbildung 5-25 zeigt S_1 bzw. S^T der Input-Parameter in Abhängigkeit des lebenszyklusbasierten GWP des Quartiers für die Szenarien 2.2.1 und 2.2.2.

Die Indizes des GWP der Altbaukonstruktionen werden in der Abbildung summiert dargestellt. Beispielsweise beinhaltet „FL_old_ren_2_3_4_GWP“ die aufsummierten Indizes S_1 und S^T , die ursprünglich baualtersklassenspezifisch, also getrennt nach BK 2, 3 und 4, als Input-Parameter für die sanierten Geschosdecken einfließen. Grund dafür ist, dass die Indizes trotz der Summenbildung einen Wert unter 0,05 einnehmen, also keinen signifikanten Einfluss auf die Varianz des Gesamtergebnisses haben. Eine Ausnahme bildet hier die Sanierung der Fenster. Die Indizes werden hier baualtersklassenbezogen ausgewiesen, da die Summe von $S_1 = 0,047$ und von $S^T = 0,053$ den Grenzwert erreichen würde.

Abbildung 5-25 zeigt, dass im Wesentlichen das Variieren von sechs Input-Parametern (siehe Markierung) einen signifikanten Einfluss auf die Varianz des Gesamtergebnisses hat (siehe Markierung und Ergebnisse Index S_1). Wird der Einfluss des GWP der Fenstersanierung („W_ren_2_GWP“, „W_ren_3_GWP“, „W_ren_4_GWP“) aufsummiert betrachtet, sind es sieben. Gleichzeitig bestehen bei denselben Input-Parametern die größten Interaktionen untereinander (siehe Ergebnisse S^T).

Sowohl die Fenstersanierung („W_ren_GWP“) als auch die neue Außenwand („EWwood_tf_nb_GWP“) unterschreiten den Grenzwert von 0,05 bei S_1 zwar leicht mit 0,047, aber da sie zudem ein S^T größer 0,05 aufweisen, können sie als einflussnehmende Input-Parameter betrachtet werden.

Den größten Gesamteffekt und die meisten Wechselwirkungen besitzt das GWP der neuen Innenwand in Holzrahmenbauweise („IWwood_tf_nb_GWP“) mit einem S^T von 0,237. Den größten direkten Einfluss auf die Varianz des Gesamtergebnisses hat das GWP der neuen Geschosdecke in Holzrahmenbauweise („FLwood_tf_nb_GWP“) mit einem S_1 von 0,239.

Insgesamt lässt sich jedoch erkennen, dass die Einflüsse der sechs Input-Parameter relativ homogen und gering sind, da sich ihre Wertebereiche untereinander annähern und unter 0,239 bleiben. Demnach sind die Berechnungslogiken bezogen auf die untersuchten Input-Parameter hinreichend robust. Es existiert kein Input-Parameter, der durch sein Variieren die Varianz des Gesamtergebnisses im Verhältnis zu den anderen Input-Parametern maßgebend beeinflussen würde, da die Werte von S_1 und S^T näher an 0 als an 1 liegen. Um die Varianz des Gesamtergebnisses dennoch zu reduzieren, müssten auf Basis der Sensitivitätsanalyse insbesondere die Wertebereiche von „IWwood_tf_nb_GWP“,

5.4 Sensitivitätsanalyse

„FLwood_tf_nb_GWP“, „WTWR_MFH“ und „IWTEW_MFH“ näher bestimmt und eingegrenzt werden.

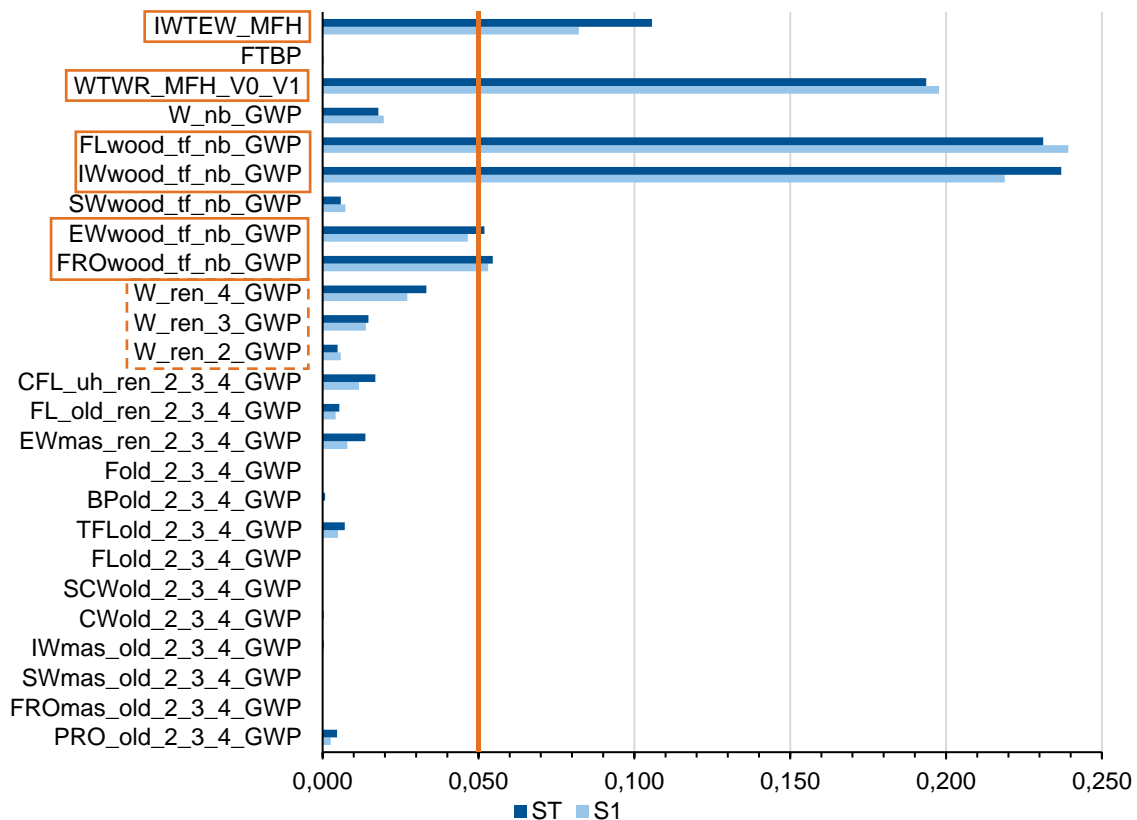


Abbildung 5-25: Sensitivitätsanalyse, GWP des Quartiers für die Szenarien 2.2.1 und 2.2.2, Auswertung S₁ und S^T; eigene Darstellung (Bauteilabkürzungen siehe Tabelle 3-4, Seite 71)

Diese Erkenntnis deckt sich mit den Auswertungen der statischen Berechnung (siehe Kapitel 5.2.4 ab Seite 151) und der vergleichenden Flächenberechnung (siehe Kapitel 5.3 ab Seite 163). Das bedeutet, dass die Analyse der statischen Berechnungen ausreichend ist, um die maßgebenden Parameter und deren Unsicherheiten zu identifizieren und projektspezifisch einzugrenzen. Eine parallele Sensitivitätsanalyse ist bei der Durchführung der entwickelten Methode zur LCA mit Hilfe von 3D-Stadtmodellen nicht zwingend erforderlich, da die Handlungsempfehlungen auch aus den statischen Berechnungen allein treffend abgeleitet werden können. Ist eine Sensitivitätsanalyse dennoch erwünscht, sollte Wert auf die Programmierperformance gelegt werden, damit die Berechnungsdauer auf ein Mindestmaß reduziert wird. Denn die hier verwendete Programmierung benötigt über drei Monate für die insgesamt 4.796.500 Einzelberechnungen. Eine solche Zeitdauer ist in der Praxis inakzeptabel und muss durch eine Parallelisierung der Rechenvorgänge bzw. durch die Verwendung leistungsstärkerer Computer kompensiert werden.

5.5 Vergleich der Szenarienergebnisse

Um dem Ziel einer ökologisch optimierten Quartiersentwicklung näher zu kommen, müssen die verschiedenen Szenarienergebnisse vergleichend diskutiert werden. Möglichkeiten der Ergebnisverarbeitung und Visualisierung werden in Kapitel 4.7.2 ab Seite 126 vorgestellt und nachfolgend auf das Fallbeispiel angewendet. Darüber hinaus ist es erforderlich, die Ergebnisse in den wissenschaftlichen Kontext einzuordnen und darauf aufbauend Handlungsempfehlungen für Bauherr:innen, Planende, kommunale Entscheidungsträger:innen oder betroffene Bewohner:innen abzuleiten.

5.5.1 Spinnennetzdiagramme

Für das Fachpublikum bieten Spinnennetzdiagramme eine geeignete Visualisierungsmöglichkeit zum Vergleich der verschiedenen Szenarienergebnisse des Fallbeispiels. Dabei werden die einzelnen Umweltwirkungen der verschiedenen Szenarien auf eine Basis-Variante normiert.

Da die Quartiersgebäude in den Szenarien unterschiedliche NRF aufweisen, ist es wichtig, dies bei der Normierung zu berücksichtigen. Ansonsten würden die Szenarien mit den größeren Nettoraumflächen grundsätzlich höhere Umweltwirkungen verursachen, obwohl sie zeitgleich mehr Nutzfläche bieten. Demnach werden für die Visualisierung die Umweltwirkungen je m^2_{NRF} herangezogen:

- Einheit GWP: $t\ CO_2\text{-Äq.}/m^2_{NRF}$
- Einheit PENRT: MWh/m^2_{NRF}
- Einheit PET: MWh/m^2_{NRF}

Vor dem Hintergrund der Schaffung zusätzlichen Wohnraums, dient das Szenario 2.2.1 – Sanierung mit Aufstockung in Holzrahmenbauweise, minimale Umweltwirkungen ohne Berücksichtigung der Phase D – als Basisvariante. Je Szenario (2.1, 2.2, 3.1 und 3.2) entsteht ein Spinnennetzdiagramm, das in Abhängigkeit der Basisvariante die Höhe seiner Umweltwirkungen (GWP, PENRT und PET) für das Fallbeispiel ausweist.

Da das Szenario 2.2.1 die Basisvariante ist, erhält dessen GWP-, PENRT- und PET-Wert jeweils den Wert 1. Entsprechend dieser Normierung stellen die Umweltwirkungen der anderen Szenarien somit ein Vielfaches der Umweltwirkungen des Szenarios 2.2.1 dar.

Abbildung 5-26 zeigt, dass Szenario 2.1 – Sanierung mit gleichbleibender Gebäudekubatur auf KfW-55-Standard – mit seinen Unterszenarien unter Berücksichtigung der minimalen und maximalen Werte insgesamt die geringsten Umweltwirkungen aufweist. Von allen Szenarien besitzt Szenario 2.1.3 das geringste GWP (0,54-fache der Basisvariante), die geringste PENRT (0,18-fache) und die geringste PET (0,36-fache).

Die größten Umweltwirkungen der Baukonstruktion bewirkt Szenario 3.1.2 – Abriss und Neubau in Holzbauweise (Passivhausstandard), maximale Umweltwirkungen ohne

5.5 Vergleich der Szenarienergebnisse

Berücksichtigung der Phase D. Das GWP übersteigt das der Basisvariante um das 5,61-fache, die PENRT um das 8,31-fache und die PET um das 11,27-fache. Das Szenario 3.2.2 – Abriss und Neubau in Massivbauweise (Passivhausstandard), maximale Umweltwirkungen ohne Berücksichtigung der Phase D – besitzt insgesamt das größte GWP (6,44-fache der Basisvariante). Dies bedeutet, dass nicht pauschal eine Bauweise ökologisch besser bewertet werden kann als die andere. Zur Bewertung der ökologischen Qualität einzelner Bauteile muss immer eine Analyse auf Bauteilebene erfolgen. Hierbei muss auch untersucht werden, ob etwaige Recycling- oder Wiederverwendungspotentiale am EoL aktiviert werden können.

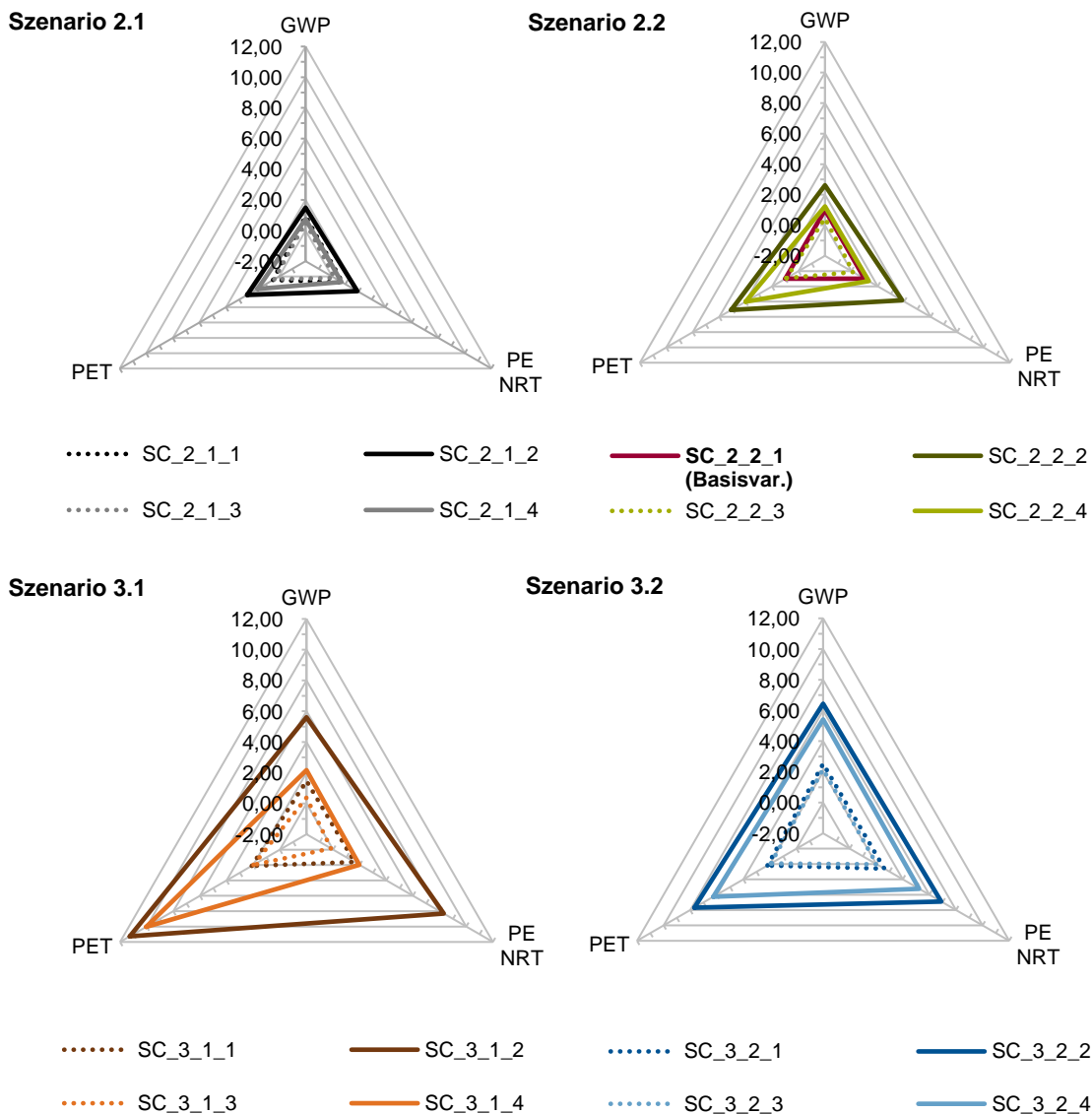


Abbildung 5-26: Fallstudie Moosach, normierter Ergebnisvergleich der Szenarien 2.1 (oben links), 2.2 (oben rechts), 3.1 (unten links) und 3.2 (unten rechts); eigene Darstellung

Die Spinnennetzdiagramme illustrieren die deutlichen Einsparpotentiale, die mit der Aktivierung der Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale (Phase D) einhergehen. Das GWP kann um bis zu 74 % verringert werden (vgl. SC 3.1.1 und 3.1.3), die PENRT um 110 % (vgl. SC 3.1.1 und 3.1.3) und die PET um bis zu 33 % (vgl. SC 2.1.2 und 2.1.4).

Dabei verhalten sich die Änderungen der Umweltwirkungen nicht immer proportional zueinander. Die asymmetrische Ausbildung der Dreiecke im SC 3.1.2 und 3.1.4 weist z. B. auf einen hohen Anteil an erneuerbarer Primärenergie in den Holzbaustoffen hin, der weniger kritisch einzustufen ist, als ein hoher Anteil an nicht erneuerbarer Primärenergie.

Bei Abriss und Neubau in Massivbauweise (SC 3.2) ist die Ausbildung der drei Umweltwirkungen homogener. Der Wertebereich zwischen den minimalen und maximalen Grauen Energien und Emissionen schwankt geringer als bei Szenario 3.1. Gleichzeitig ist jedoch zu erkennen, dass das Szenario 3.2.1, also das Szenario mit den geringsten Umweltwirkungen der Massivbauweise (ohne Phase D) das Pendant der Holzbauweise (SC 3.1.1) leicht übertrifft.

Insgesamt lassen sich folgende Erkenntnisse aus Abbildung 5-26 mit dem Fokus auf eine ökologisch optimierte Ausführung der Baukonstruktion ableiten:

- Besteht im Quartier kein Nachverdichtungsbedarf, so ist die Sanierung mit gleichbleibender Gebäudekubatur in jedem Fall den anderen Szenarien vorzuziehen, da sie die geringsten Grauen Energien und Emissionen bewirkt.
- Muss nachverdichtet werden, so sollte geprüft werden, ob die Bestandsgebäude aufgestockt werden können, da hierdurch im Vergleich zum Abriss und Neubau insgesamt ebenfalls geringere Umweltwirkungen entstehen.
- Ist ein Abriss des Quartiers unvermeidbar, so muss die Neubausausführung ökologisch durchdacht geplant werden. Die Holzbauweise führt nicht grundsätzlich zu den geringsten Umweltwirkungen. Denn die energetische Verwertung von Holz am EoL setzt das in Form von Kohlenstoff gebundene CO₂ wieder frei. Unter Berücksichtigung der Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale (hier: Verdrängung fossiler Primärenergie durch die energetische Verwertung des Holzes) besitzt sie jedoch deutliche Vorteile gegenüber der Massivbauweise. Bei den Holzbauteilen ist die Gewichtung des Einsatzes an erneuerbarer Energie ebenfalls zu diskutieren. Denn der Verbrauch fossiler und mineralischer Ressourcen ist kritischer als der von nachwachsenden Rohstoffen.

Forschungsprojekte haben jedoch gezeigt, dass die Entscheidung über die Bauausführung nicht allein auf Basis der Baukonstruktion getroffen werden sollte. Maßgebender Faktor im Wohnungs- und Nichtwohnungsbau ist nach wie vor der betriebliche Energiebedarf, wobei die Bedeutung der Baukonstruktion bei Niedrigstenergiegebäuden zunimmt. Auch die Komponenten der TGA und deren lebenszyklusbasierte Umweltwirkungen dürfen nicht außer Acht gelassen werden. (Banihashemi et al., 2021; Harter, Meier-Dotzler et al., 2020; Röck et al., 2020; Schneider-Marín et al., 2019)

Daher ist es wichtig, dass die hier entwickelte Methode mit der LCA des betrieblichen Energiebedarfs und der TGA zusammengeführt wird (siehe Kapitel 5.6.1 ab Seite 177). Nur so ist eine ganzheitliche Analyse möglich. Im Forschungsprojekt „Grüne Stadt der Zukunft“ konnte gezeigt werden, dass dies bereits möglich ist (Banihashemi et al., 2021; TU München - Lehrstuhl für Strategie und Management der Landschaftsplanung, o. J.).

5.5.2 Umweltkosten

Eine weitere Möglichkeit die Umweltwirkungen zu visualisieren, ist die Darstellung über Umweltkosten. Die genaue Methode wird in Kapitel 4.7.2.2 ab Seite 128 beschrieben. Die Verwendung der Methode bietet sich vor allem bei gleichzeitiger Ermittlung der Lebenszykluskosten an. Investitions-, Nutzungs- und Entsorgungskosten können so durch zusätzlich entstehende Umweltkosten ergänzt werden.

Für die Fallbeispielszenarien werden beispielhaft die Umweltschadenskosten nach Matthey und Büniger (2020) ermittelt. Wie in Kapitel 4.7.2.2 (ab Seite 128) erläutert, bewegen sich die Umweltschadenskosten je nach Anwendung der Generationengerechtigkeit bezogen auf das Basisjahr 2022 zwischen 199 und 684 €₂₀₂₂ je Tonne CO₂-Äquivalent. Für einen besseren Ergebnisvergleich werden diese Kosten in €₂₀₂₂ je m²_{NRF} und Jahr [€₂₀₂₂/(m²_{NRF}×a)] (bei 50 Jahren Lebensdauer) ausgewiesen (vgl. Kapitel 3.3.3 ab Seite 66). Tabelle 5-10 illustriert die so entstehende Spannweite der Umweltschadenskosten von 0,14 bis 7,84 €₂₀₂₂/(m²_{NRF}×a).

Tabelle 5-10: Fallstudie Moosach, minimale und maximale Umweltschadenskosten je m²_{NRF} und Jahr bei 50 Jahren Lebensdauer; eigene Darstellung nach Matthey und Büniger (2020, S. 8)

Szenario	Umweltschadenskosten [€ ₂₀₂₂ /(m ² _{NRF} ×a)]
SC 2.1.1	0,33 - 1,14
SC 2.1.2	0,53 - 1,82
SC 2.1.3	0,19 - 0,66
SC 2.1.4	0,27 - 0,92
SC 2.2.1	0,35 - 1,22
SC 2.2.2	0,93 - 3,19
SC 2.2.3	0,16 - 0,56
SC 2.2.4	0,44 - 1,50
SC 3.1.1	0,52 - 1,79
SC 3.1.2	1,99 - 6,83
SC 3.1.3	0,14 - 0,47
SC 3.1.4	0,77 - 2,64
SC 3.2.1	0,90 - 3,08
SC 3.2.2	2,28 - 7,84
SC 3.2.3	0,77 - 2,64
SC 3.2.4	1,92 - 6,59

Berechnung der min. und max. Umweltschadenskosten (199 bzw. 684 €₂₀₂₂/t CO₂-Äq.) durch Interpolation auf das Basisjahr 2022

Auf den ersten Blick erscheinen die jährlichen Umweltschadenskosten je m²_{NRF} infolge des CO₂-Ausstoßes gering. Ein Vergleich mit den durchschnittlichen jährlichen Heizkosten (LZPH B6) lässt jedoch deren Relevanz erkennen. Im Jahr 2021 beliefen sich die Heizkosten je m² Gebäudefläche für ein mittelgroßes MFH (501 bis 1.000 m²) durchschnittlich zwischen 8,30 € (Holzpellets) und 13,80 € (Fernwärme) (co2online, 2022). Eine Teuerung der Lebenskosten um die maximalen Umweltschadenskosten von 7,84 €₂₀₂₂/(m²_{NRF}×a) für die

Baukonstruktion (siehe SC 3.2.2) würde demnach eine deutliche Mehrbelastung um bis zu 94 % darstellen. Derzeitige Energiepreisteuerungen um beispielsweise 395 % beim Erdgas (Anstieg der monatlichen Heizkosten im September 2022 eines EFH mit Gasheizung gegenüber Vorjahresmonat) schwächen zwar den Einfluss der Umweltschadenskosten deutlich ab, sie würden jedoch trotzdem sichtbar bleiben (co2online, 2022).

Auch der Kaufpreis einer Eigentumswohnung könnte sich signifikant durch die Berücksichtigung der Umweltschadenskosten erhöhen. Im ersten Quartal 2022 lag der durchschnittliche Angebotspreis einer Eigentumswohnung in Deutschland bei 3.353 € je m² Wohnfläche (Statista, 2022a). Setzt man die NRF der Wohnfläche gleich und würden die maximalen Umweltschadenskosten des Szenarios 3.2.2 von 392 €₂₀₂₂/m²_{NRF} (7,84 €/m²_{NRF} × 50 a) im Kaufpreis berücksichtigt, würde dies den Angebotspreis um 11,7 % erhöhen.

Dabei resultieren jedoch nicht nur Umweltschadenskosten aus den CO₂-Emissionen der Baukonstruktion. Auch andere Umweltwirkungen, wie das Ozonabbaupotential (ODP), die photochemische Ozonbildung (POCP), das Versauerungspotential (AP) oder das Eutrophierungspotential (EP) lassen weitere Umweltschadenskosten entstehen (Schneider-Marin und Lang, 2020). Zusätzlich wären auch die Umweltschadenskosten zu ermitteln, die aus den TGA-Komponenten oder aus der Nutzung der Wohngebäude hervorgehen.

Wie Schneider-Marin und Lang (2020) erörtern, stellt die Ermittlung der Umwelt- bzw. Umweltschadenskosten eine geeignete Methode dar, um Umweltauswirkungen transparent und verständlich zu illustrieren. Sie machen nicht nur die ökologische, sondern auch die sozioökonomische Brisanz des Klimaschutzes im Bauwesen deutlich. Um dafür eine breite Akzeptanz in der Bevölkerung zu schaffen, müssen jedoch einheitlich geltende Kostensätze geschaffen werden. Bisher sind die Kostenspannweiten in der Fachliteratur noch sehr unterschiedlich. Gründe hierzu werden in Kapitel 4.7.2.2 ab Seite 128 genannt.

5.5.3 Baumwachstum

Neben den Umweltschadenskosten ist die Darstellung des notwendigen Baumwachstums zur Bindung der entstehenden CO₂-Emission ein probates Mittel, Umweltauswirkungen verständlich darzustellen (vgl. Kapitel 4.7.2.3 ab Seite 131).

Auch auf die Szenarienergebnisse des Fallbeispiels wird diese Methode angewendet. Als Grundlage wird das CO₂-Bindungspotential einer Stadtlinde nach dem CTCC des Climate Change Resource Center (o. J.) und Kalisch (2021) herangezogen (siehe auch Tabelle 4-5, Seite 132). Dabei wird zunächst das Kohlenstoffbindungspotential ermittelt und anschließend auf das CO₂ übertragen, denn Bäume binden bei der Photosynthese CO₂ nur indirekt in Form von Kohlenstoff. Vor diesem Hintergrund besitzt eine 40- bis 60-jährige Stadtlinde (bzw. Winterlinde) in mit München vergleichbaren Klimazonen ein durchschnittliches CO₂-Bindungspotential von 1.178,82 kg. Die Stadtlinde wird deshalb gewählt, da sie im Stadtgebiet München heimisch ist und somit das anfallende CO₂ da gebunden werden

kann, wo es entsteht. Können alle Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale aktiviert werden, so verursacht Szenario 3.1.3 mit 5.363,8 t CO₂-Äq. das geringste GWP. Ohne Berücksichtigung der Phase D müssen maximal 91.371,9 t CO₂-Äq. (Szenario 3.2.2) durch das Pflanzen von Stadtlinden gebunden werden.

Abbildung 5-27 zeigt auf Basis der Szenarienergebnisse die minimal und maximal erforderliche Anzahl an Stadtlinden. Die Anzahl der bildhaft dargestellten Bäume steht dabei im Mengenverhältnis. Sie illustriert den Bedarf an zusätzlichem Stadtgrün, das allein durch die Sanierung des kleinen Stadtgebietes erforderlich wäre. Bei einer geschätzten Gesamtanzahl von ca. 600.000 Stadtbäumen im Stadtgebiet München ergeben 4.551 Stadtlinden eine Zuwachsrate von 0,8 % (Rötzer et al., 2021; Wilhelm, 2019). Eine zusätzliche Pflanzung von 77.512 Bäumen erscheint jedoch in der Praxis aus Platzgründen nicht umsetzbar. Eine 40-jährige Linde besitzt eine Kronenfläche von ca. 45 m² (Rötzer et al., 2021). 77.512 Bäume ergeben so einen Platzbedarf von 3,5 km², was 1,1 % der gesamten Münchner Stadtfläche (310,7 km²) oder 8,4 % der städtischen Grünflächen (41,64 km²; Stand 2020) beträgt (München Betriebs GmbH & Co. KG, 2022). Zusätzlich müssen alle Bäume ein Alter von 40 bis 60 Jahren erreichen, um die genannte Menge an CO₂ in Form von Kohlenstoff binden zu können.

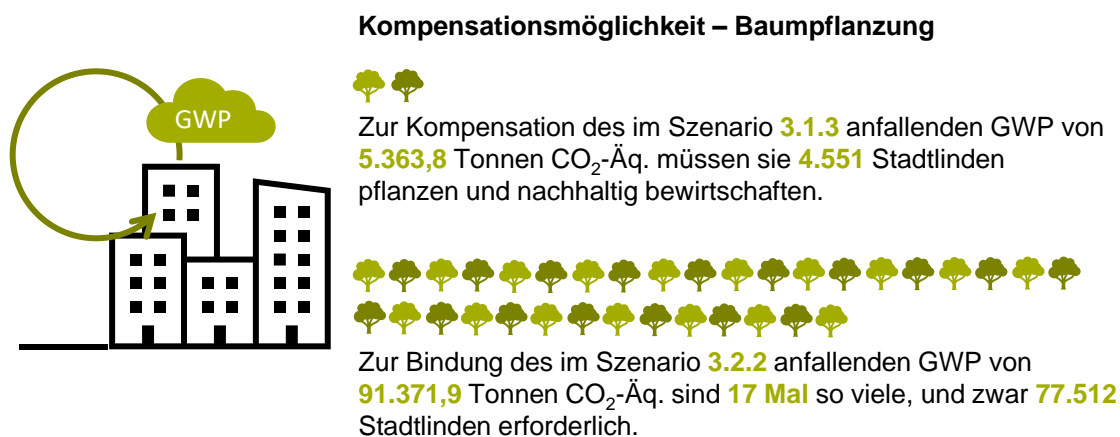


Abbildung 5-27: Fallstudie Moosach, Visualisierung der erforderlichen Stadtlinden zur Bindung des minimal und maximal anfallenden lebenszyklusbasierten GWP; eigene Darstellung

Die Methode stellt eine Visualisierungsmöglichkeit des lebenszyklusbasierten GWP dar, die in der Theorie verständlich kommuniziert werden kann. Die praktische Umsetzung gestaltet sich aufgrund der Flächenkonkurrenzen in der Stadt jedoch schwierig. Vor allem, wenn man die Umweltwirkungen des Bausektors dort kompensieren will, wo sie entstehen. Eine dem Emissionsausstoß entsprechende Baumpflanzung kann deshalb nicht die alleinige Antwort auf das Klimaproblem sein. Vielmehr müssen bereits in der Planungsphase die Klimaauswirkungen einer Baumaßnahme weitestgehend reduziert werden.

5.6 Diskussion der Fallstudie

5.6.1 Ergebnisvergleich mit anderen Publikationen

Abschließend werden die Szenarienergebnisse mit den Ergebnissen anderer LCA-Studien verglichen. Zunächst wird der Einfluss der Baukonstruktion im Gebäudelebenszyklus eingeordnet. Im Rahmen des Forschungsprojektes „Grüne Stadt der Zukunft“ wurde nicht nur eine LCA der Baukonstruktion, sondern auch eine LCA der TGA und des betrieblichen Energieeinsatzes durchgeführt.

Die Studie hat gezeigt, dass bei einer Quartierssanierung mit gleichbleibender Gebäudedekubatur (SC 2.1) 27 % des lebenszyklusbasierten GWP auf die Baukonstruktion und 3 % auf die TGA zurückzuführen sind. 70 % resultieren aus dem Gebäudebetrieb (Heizen- und Trinkwarmwasseraufbereitung). (Banihashemi et al., 2021)

Bei einer Sanierung mit Aufstockung um zwei Geschosse in Holzrahmenbauweise (SC 2.2) nimmt der Anteil der Baukonstruktion am gesamten GWP zwischen 10 und 39 % und an der gesamten PET zwischen 19 und 56 % ein. Diese hohen Anteile der Baukonstruktion an den lebenszyklusbasierten Grauen Energien und Emissionen beruhen auf der Annahme, dass die Quartiersgebäude nach der Sanierung mit Hilfe von Fernwärme oder Wärmepumpen beheizt werden. Diese Beheizungsvarianten basieren auf einem höheren Anteil an erneuerbaren Energien. Gleichzeitig sinkt der totale Primärenergiebedarf im Betrieb. Relativ gesehen steigen somit die Anteile der Grauen Energien und Emissionen im Lebenszyklus. Vor dem Hintergrund eines klimaneutralen Gebäudebetriebs, entwickelt sich hierdurch die Baukonstruktion zum maßgebenden Treiber der lebenszyklusbasierten Umweltwirkungen, insbesondere bei Gebäuden im Niedrigstenergiestandard. (Banihashemi et al., 2021)

Diese Erkenntnis deckt sich auch mit denen anderer Studien. Mahler, Idler und Gantner (2019) bestätigen, dass die Baukonstruktion von neuen Wohngebäuden im Niedrigstenergiestandard 30 % des lebenszyklusbasierten GWP verursachen kann. Auch Braune et al. (2021) vermerken, dass bei Neubauten das Treibhausgasemissions-Verhältnis zwischen Bauwerk und Gebäudebetrieb durchschnittlich 35 zu 65 % beträgt.

Ein detaillierter Vergleich der Berechnungsergebnisse ist mit zwei Publikationen möglich, die sich mit den Umweltwirkungen von Neubauten beschäftigen (siehe Kapitel 2.7.2 und 2.7.3 ab Seite 40). Benchmarks für die Sanierung finden sich zwar auch bei Mahler, Idler, Nusser und Gantner (2019), allerdings wird das GWP für die Baukonstruktion und TGA zusammen ausgewiesen sowie auf die Wohnfläche und nicht auf die NRF bezogen. Ein direkter Vergleich zur Validierung der Ergebnisse ist aufgrund der unterschiedlichen funktionalen Einheiten und Systemgrenzen somit nicht möglich.

Zur Validierung der Szenarienergebnisse des Neubaus dienen deshalb die Benchmarks von König (2017) und Braune et al. (2021) in Tabelle 5-11. Dafür wird für die Szenarien 3.1 und 3.2 der Anteil des Gebäudeabrisses subtrahiert.

Tabelle 5-11 zeigt, dass die Szenarienergebnisse mit den Benchmarks der Literatur vergleichbar sind. Die Wertebereiche des GWP, der PENRT und PET überschneiden sich mit König (2017). Die minimalen Umweltwirkungen der Szenarien liegen zwar deutlich unterhalb der Wertebereiche der Literatur, aber die maximalen Umweltwirkungen der Szenarios 3.1 liegen innerhalb.

Beim Szenario 3.2 trifft dies ebenfalls auf das GWP zu ($8,4 < 10,9 < 16,7 \text{ kg CO}_2\text{-Äq.}/(\text{m}^2_{\text{NRF}\times\text{a}}$). Die maximalen Werte der PENRT und PET sind hier zwar um 4 bzw. 10 MJ/ $(\text{m}^2_{\text{NRF}\times\text{a}}$) kleiner als bei König (2017), aber dort umfassen die Werte nicht nur die Umweltwirkungen der Baukonstruktion sondern auch die der TGA. Zudem berücksichtigt (König, 2017) bei der Baukonstruktion auch Bodenbeläge sowie Decken- oder Wandbeschichtungen, die zusätzliche Umweltwirkungen verursachen. Diese Bauteilschichten fließen bei der Fallstudie nicht ein (siehe Kapitel 3.2.2.1 ab Seite 54). Ferner werden bei der Fallstudie auch die Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale betrachtet, wodurch sich die Wertebereiche deutlich erweitern.

Tabelle 5-11: Fallstudie Moosach, Vergleich der Szenarienergebnisse (Neubauten) mit Benchmarks aus der Literatur; eigene Darstellung

Umweltwirkung	Szenario 3.1 (für Baukonstruktion, exkl. Gebäudeabriss und TGA)	Szenario 3.2 (für Baukonstruktion, exkl. Gebäudeabriss und TGA)	König (2017) (für Baukonstruktion und TGA)	Braune et al. (2021) (für Baukonstruktion)
GWP	0,3 - 9,4 kg CO ₂ -Äq./ $(\text{m}^2_{\text{NRF}\times\text{a}}$)	3,5 - 10,9 kg CO ₂ -Äq./ $(\text{m}^2_{\text{NRF}\times\text{a}}$)	8,4 - 16,7 kg CO ₂ -Äq./ $(\text{m}^2_{\text{NRF}\times\text{a}}$)	8,7 kg CO ₂ -Äq./ $(\text{m}^2_{\text{NRF}\times\text{a}}$)
PENRT	1 - 122 MJ/ $(\text{m}^2_{\text{NRF}\times\text{a}}$)	34 - 101 MJ/ $(\text{m}^2_{\text{NRF}\times\text{a}}$)	105 - 214 MJ/ $(\text{m}^2_{\text{NRF}\times\text{a}}$)	Keine Angaben
PET	42 - 210 MJ/ $(\text{m}^2_{\text{NRF}\times\text{a}}$)	41 - 143 MJ/ $(\text{m}^2_{\text{NRF}\times\text{a}}$)	153 - 250 MJ/ $(\text{m}^2_{\text{NRF}\times\text{a}}$)	Keine Angaben

Die von Braune et al. (2021) ermittelten durchschnittlichen Treibhausgasemissionen der Baukonstruktion von $8,7 \text{ kg CO}_2\text{-Äq.}/(\text{m}^2_{\text{NRF}\times\text{a}}$) liegen ebenfalls in den Wertebereichen der Fallstudie. Sie weisen in ihrer Studie darauf hin, dass ein Grenzwert von $4,3 \text{ kg CO}_2\text{-Äq.}/(\text{m}^2_{\text{NRF}\times\text{a}}$) für Neubaugebäude erforderlich ist, um die Klimaziele zu erreichen. Dies wäre für das Quartier in Moosach erreichbar, insofern nicht nur materialeffizient gebaut wird, sondern auch das Recycling und die Wiederverwendungsmöglichkeiten von Baustoffen berücksichtigt werden.

Graubner und Knauff (2008) vergleichen die Ökobilanz der Holzelement- und der Massivbauweise eines KfW-40-Energiesparhauses. Sie vermerken, dass sich die Umweltwirkungen der Holzelement- und Massivbauweise je nach zugrunde liegender Gebäudelebensdauer und Austauschzyklen angleichen. Die Holzbauweise entfaltet bei Lebensdauern, die kürzer als 80 Jahre sind, ihre Vorteile. Danach heben sich die Vorteile auf. Zudem weisen

sie in ihrer Studie darauf hin, dass der Innenausbau und dessen Austauschzyklen einen wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis nehmen. Somit sind die LCA-Ergebnisse verschiedener Studien nur vergleichbar, wenn auch dieselben räumlichen und zeitlichen Systemgrenzen angewendet werden (siehe 3.2.2 ab Seite 54). Bei sich verändernden Nutzungs- und Gebäudelebensdauern müssen die Szenarienergebnisse neu berechnet und bewertet werden.

5.6.2 Kritische Würdigung der Fallstudienenergebnisse

Neben gleicher räumlicher und zeitlicher Systemgrenzen muss auch die Datenbank identisch sein, um einzelne Fallstudienenergebnisse miteinander vergleichen zu können. Ebenfalls beeinflusst die Wahl der einzelnen Datensätze, wie z. B. die der ÖKOBAUDAT (Version 2020-II), die Ergebnisse maßgebend. Eine Aktualisierung der Datensatzversion bleibt bei der hier entwickelten Methodik stets möglich, muss jedoch manuell vorgenommen werden. Bei Bedarf können auch generische oder durchschnittliche Datensätze durch produkt-spezifische Datensätze ersetzt werden, welche die Umweltwirkungen verschiedener Baumaterialien signifikant anders bewerten können.

Darüber hinaus bestätigt die Fallstudie die Anwendbarkeit der entwickelten Methode und Berechnungslogiken für eine LCA der Baukonstruktion auf Quartiersebene in frühen Planungsphasen. Auch ist mit Hilfe der genannten Visualisierungen eine fundierte Ergebnisdiskussion möglich. Die Methode kann beliebig auf andere Quartiere übertragen werden, insofern 3D-Stadtmodelle mit gleichem Informationsgehalt und LoD vorhanden sind. Theoretisch können anstatt des CityGML-Formats auch andere Datenmodelle genutzt werden. Voraussetzung ist jedoch das Vorliegen der wesentlichen Gebäudekennwerte wie Nutzungsart, Baujahr und Angaben zu den Gebäudehüllflächen.

Bei der Übertragung der Methode auf andere Quartiersstudien müssen jedoch die existierenden Unsicherheiten berücksichtigt und projektspezifisch reduziert werden. Die Fallstudie bestätigt die Erkenntnis von Häfliger et al. (2017), dass es sowohl auf Material- als auch Gebäudeebene Unsicherheiten gibt. Die Wertebereiche der Umweltwirkungen des Massivbaus streuen dabei nicht so stark wie die der Holzbauweise.

Eine Sensitivitätsanalyse variierender Input-Parameter zur Identifizierung der maßgebenden Treiber der LCA ist sinnvoll, aber nicht zwingend erforderlich. In jedem Fall muss deren Programmierung so umgesetzt werden, dass sie zeitnah Ergebnisse liefern kann.

Durch die Fallstudie zeigt sich ferner, dass Bauteilflächenverhältnisse und die Wahl der Bauteil Ausführungen die Szenarienergebnisse gleichermaßen beeinflussen können. Um die Wertebereiche anderer Fallstudien eingrenzen zu können, müssen deshalb die Bauteil Ausführungen so früh wie möglich konkretisiert werden.

Andererseits ist es eine wesentliche Stärke der Methode, dass in frühen Planungsphasen die gesamte mögliche Bandbreite der Umweltwirkungen und die Einsparpotentiale ermittelt werden können, wenn die Bauweise noch nicht konkret feststeht. Sie ermöglicht so

eine fundierte Fachdiskussion über verschiedene Bauweisen und deren Ressourceneinsparpotentiale.

5.6.3 Umgang mit Gutschriften und dem zukünftigen Einfluss der Baukonstruktion im Lebenszyklus

Die Aktivierung der Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale muss kritisch diskutiert werden, da sie theoretisch zwar durch die Phase D erfasst werden, jedoch praktisch nicht immer umgesetzt werden können. Ferner können sich zukünftig die Umweltwirkungen einzelner Entsorgungsszenarien inklusive ihrer bilanziellen Gutschriften verändern. Als Beispiel kann die energetische Verwertung von Holzbaustoffen am EoL erwähnt werden. Durch eine sogenannte Kaskadennutzung (mehrmalige Nutzung des Baumaterials bevor es final thermisch verwertet wird) kann das GWP langfristig und über mehrere Bauprojekte hinweg gebunden werden und das gebundene CO₂ wird nicht jedes Mal beim Gebäudeabriss freigesetzt. Höglmeier et al. (2013) zeigen beispielsweise in ihrer Fallstudie von 2011, dass 26 % des durch Abriss wiedererlangten Holzes in Süd-Ost-Deutschland direkt weitergenutzt und weitere 27 % als Sekundärrohstoff verwendet werden könnten. Dies würde deutlich zur Klimaneutralität des zukünftigen Gebäudebestandes beitragen und beispielsweise eine Aufforstungsmaßnahme zur Bindung des erzeugten Treibhausgaspotentials (siehe Kapitel 5.5.3 ab Seite 175) unterstützen.

Bisher galt bei einem stetig hohen Betriebsenergiebedarf, der im Wesentlichen durch fossile Energieträger bereitgestellt wird, dass sich die energetische Sanierung von Bestandsgebäuden auch seitens der Ökologie in jedem Fall lohnt. Sinkt der betriebliche Energiebedarf bei gleichzeitiger Erhöhung des Deckungsanteils durch erneuerbare Energien, rücken die ökologische Qualität der Baukonstruktion und der Ressourcenverbrauch bei der Sanierung oder im Neubau in den Vordergrund. Hier muss diskutiert werden, ob sich der materielle Mehrverbrauch und die damit einhergehenden Grauen Emissionen und Energien auch ökologisch noch begründen lassen, nachdem die Maßnahmen aus wirtschaftlicher Sicht in der Praxis bereits heute umstritten sind. Hierzu bietet sich eine parallele LCA- und LCC-Studie an, wobei bei der LCC zukünftig auch die Umweltschadens- oder gesetzliche Emissionskosten berücksichtigt werden müssen.

Die Einbettung der Fallstudie in das Forschungsprojekt „Grüne Stadt der Zukunft“ zeigt zudem, dass in die Quartiersplanung auch die Aspekte der Klimaanpassung einfließen müssen. Mildere Winter reduzieren den Heizenergiebedarf und heißere Sommer verursachen eine aktive oder passive Kühlung der Gebäude. (Banihashemi et al., 2021)

Die vorliegende Arbeit bietet sowohl die methodische Grundlage als auch baukonstruktive Beispiele für die ökologische Analyse einer klimaangepassten Bauweise. So wird bereits der Bauteilaufbau zur Umsetzung einer intensiven Dachbegrünung berücksichtigt. Die Umweltwirkungen einzelner Beispielaufbauten fließen demnach bereits in die Berechnung der Fallstudie ein. Darüber hinaus können innovative Konstruktionsaufbauten leicht nach

der vorgegebenen Struktur ergänzt und in die Tabellen der Anhänge A.3 (ab Seite 296), A.4 (ab Seite 311), A.7 (ab Seite 439) und A.8 (ab Seite 450) eingearbeitet werden.

5.6.4 Fallstudienspezifische Handlungsempfehlungen

Aus dem Vergleich der Szenarienergebnisse untereinander und mit der Literatur resultieren verschiedene spezifische Handlungsempfehlungen für die Quartiersentwicklung der Fallstudie:

- Szenario 1 zeigt, dass baualtersklassenspezifische Unterschiede bei den Umweltwirkungen der Bestandskonstruktionen vorhanden sind. BK 2 weist das geringste GWP je m² NRF auf, BK 4 das höchste.
- Die Quartierssanierung erzeugt grundsätzlich geringere Umweltwirkungen als der Gebäudeabriss mit Ersatzneubau und ist diesem aus ökologischer Sicht vorzuziehen. Die Vor- und Nachteile einer Sanierung sollten in frühen Planungsphasen fundiert gegeneinander abgewägt werden. Maßgebende Treiber im Szenario 2.1 sind wegen ihres hohen Flächenanteils die Steildächer und Außenwände. Durch die geringe durchschnittliche Geschosshöhe des Quartiers kann je nach Bauausführung auch die Sanierung der Kellerdecke maßgeblichen Einfluss nehmen. Darüber hinaus bewirken der Austausch und Ersatz der Fenster einen deutlichen Anteil an den Umweltwirkungen. Zwar ist der Fensterflächenanteil gering, jedoch sind die Umweltwirkungen je m² Bauteilfläche hoch.
- Für eine ökologisch optimierte Bauausführung sollten die Bauteile untersucht werden, die die größten Flächenanteile im Quartier besitzen und die höchsten ökologischen Einzelwerte aufweisen. Für die Bauteile mit den höchsten Einzelwerten wird eine detaillierte Betrachtung der vorliegenden Bauteilschichten bzw. -komponenten empfohlen (v. a. für Fenster).
- Bei Nachverdichtungsmaßnahmen sollte die Umsetzbarkeit von Bestandsaufstockungen diskutiert werden, bevor die Gebäude durch Neubauten ersetzt werden. Maßgebende Treiber sind hier die Sanierung der Außenwände und Fenster sowie der Neubau der Innenwände, Außenwände und Flachdächer.
- Ist ein Abriss der Bestandsgebäude aus konstruktiver oder ökonomischer Sicht unvermeidbar, muss nicht nur die Neubausausführung ökologisch durchdacht werden, sondern es müssen zukünftig auch die Umweltwirkungen des Bestandsabrisses berücksichtigt werden. Sie besitzen einen signifikanten Einfluss auf die ökologische Qualität der Baumaßnahme (Szenario 3.1: 2 bis zu 50 % am GWP; Szenario 3.2: 1 bis zu 16 % am GWP).
- Wird das Quartier abgerissen und durch Neubaugebäude ersetzt, ist sowohl im Holz- als auch im Massivbau aufgrund der hohen Flächenanteile die ökologische Qualität der Innenwände, Geschossdecken und Außenwände zu untersuchen. Im Holzbau beeinflussen die Bauteile entgegen dem Massivbau die lebenszyklusbasierten Umweltwirkungen nicht in allen Unterszenarien mit gleicher Tendenz. Je Bauteil führt entweder

die Holzrahmen- oder die Holzmassivbauweise zu den höchsten Umweltwirkungen. Deshalb sollte die ökologische Optimierung auf der Bauteilebene erfolgen.

- Die Holzbauweise führt nicht grundsätzlich zu den geringsten Umweltwirkungen. Unter Berücksichtigung der Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale besitzt sie jedoch deutliche Vorteile gegenüber der Massivbauweise. Die Gewichtung des Einsatzes an erneuerbarer Energie ist dabei zu diskutieren. Denn der Verbrauch fossiler und mineralischer Ressourcen ist kritischer als der von nachwachsenden Rohstoffen.
- Die Ergebnisvarianzen werden zum einen durch die Unsicherheiten bei der automatisierten Flächenberechnung beeinflusst. Zum anderen verursachen die Wertebereiche der minimalen und maximalen Umweltwirkungen je m^2_{Bauteil} eine Streuung des Gesamtergebnisses. Dies bestätigt sowohl die vergleichende Flächenberechnung (Kapitel 5.3 ab Seite 163) als auch die Sensitivitätsanalyse (Kapitel 5.4 ab Seite 166). Die Unsicherheiten der automatisierten Flächenberechnung können toleriert werden, insofern die dafür maßgebenden Faktoren (z. B. Fensterflächenanteil und Verhältnis von Innen- zu Außenwandfläche) projektspezifisch genauer bestimmt werden.
- Nicht nur die Sensitivitätsanalyse, sondern auch die statische Berechnung identifiziert die wesentlichen Input-Faktoren, die für die Varianzen der Szenarienergebnisse verantwortlich sind. Somit ist die Durchführung einer Sensitivitätsanalyse qualitativ sinnvoll, jedoch nicht zwingend erforderlich.
- Spinnennetzdiagramme sollten für die Ergebnisdiskussion in Fachgremien eingesetzt werden, da sie die Vor- und Nachteile der verschiedenen Varianten in Abhängigkeit einer Basisvariante übersichtlich darstellen können. Hieraus werden die Vorteile der Quartierssanierung in allen drei Umweltkategorien gleichzeitig erkennbar.
- Für die Fallstudie empfiehlt sich eine parallele Lebenszykluskostenanalyse (LCC). Unter Berücksichtigung der Umweltschadenskosten durch CO_2 -Emissionen können so die ökologischen und ökonomischen Vor- und Nachteile einzelner Szenarien gleichzeitig bewertet werden. Um den Klimazielen und einer nachhaltigen Entwicklung des Bau-sektors gerecht zu werden, müssen neben Investitions-, Nutzungs- und Entsorgungskosten zukünftig auch die Umweltschadenskosten berücksichtigt werden.
- Die Bindung des durch die Baumaßnahme entstehenden GWP mit Hilfe von Aufforstungsmaßnahmen ist in der Praxis nur bedingt umsetzbar. Diese Visualisierungsart liefert jedoch eine verständliche Möglichkeit der Ergebniskommunikation.
- Die direkte Übertragung der Szenarienergebnisse auf andere Quartiere ist nur teilweise möglich. Dafür müssen die zeitlichen und räumlichen Systemgrenzen identisch definiert sein und die vorhandenen Unsicherheiten weitestgehend reduziert werden.
- Bei Niedrigstenergiegebäuden gewinnt die Ausführung der Baukonstruktion aus ökologischer Sicht zunehmend an Bedeutung. Der Vergleich der Wertebereiche der einzelnen Szenarien illustriert dabei die ökologischen Einsparpotentiale.
- Die Fallstudienresultate, insbesondere die Ausführungsvarianten der Baukonstruktion und deren Umweltwirkungen sollten nicht nur im Kontext des Klimaschutzes, sondern auch der Klimaanpassung diskutiert werden.

5.7 Zusammenfassung Kapitel 5

- In diesem Kapitel wird die erfolgreiche Anwendbarkeit der Methodik und der entwickelten Berechnungslogiken für die LCA der Baukonstruktion auf Quartiersebene via 3D-Stadtmodelle anhand der Fallstudie „Moosach“ aufgezeigt.
- Für die 181 Wohngebäude im Quartier werden in insgesamt 20 Bauausführungsszenarien die lebenszyklusbasierten Umweltwirkungen verschiedener Baukonstruktionen automatisiert berechnet und deren Ergebnisse miteinander verglichen.
- Die Fallstudie zeigt, dass eine LCA verschiedener baulicher Entwicklungsszenarien von größeren Gebäudebeständen, wie Stadtquartieren, automatisiert und schnell durchführbar ist und dass die Ergebnisse mit Hilfe verschiedener Visualisierungsmöglichkeiten transparent und verständlich diskutiert werden können.
- Stärke der Methode ist die Möglichkeit zur Abschätzung der zu erwartenden Umweltwirkungen eines Sanierungs- oder Neubauprojektes in frühen Planungsphasen, wenn nur wenige Informationen über den Bestand vorliegen. Datengrundlage bieten dabei semantische 3D-Stadtmodelle (LoD2) im CityGML-Format 2.0 (siehe Kapitel 4) sowie die entwickelten ökologischen Kennwerte verschiedener Bauteilkonstruktionen (siehe Kapitel 3).
- Die mit Hilfe der Fallstudie durchgeführte Sensitivitätsanalyse identifiziert Unsicherheiten, die bei der Anwendung der Methode entstehen. Die Varianz der Gesamtergebnisse wird im Wesentlichen durch die Streuung von sechs der insgesamt 52 Input-Parameter beeinflusst. Diese Input-Parameter werden größtenteils auch in der statischen Berechnung als wesentliche Treiber der Umweltwirkungen und der Streubreite der Szenarienergebnisse identifiziert.
- Als wesentliche Treiber der Umweltwirkungen GWP, PENRT und PET der Fallstudie gelten die Bauteile mit den größten Flächenanteilen (Innenwand, Außenwand und Geschosdecken) sowie die Fenster, die je m² Bauteil die höchsten Umweltwirkungen besitzen.
- Um die Unsicherheiten bzw. die Streubreite bei den Berechnungsergebnissen zu reduzieren, erlaubt es die Methode die Werte der Input-Parameter zu konkretisieren. Dies ist insbesondere bei den Flächenverhältnissen relevant (z. B. Fensterflächenanteil oder Verhältnis der Innenwand- zur Außenwandfläche).
- Aus den Ergebnissen der Fallstudie werden folgende spezifische Handlungsempfehlungen für die Quartiersentwicklung abgeleitet:
 - Eine Sanierung des Quartiers und seiner Baukonstruktion auf den Niedrigstenergiestandard ist aus ökologischer Sicht einem Gebäudeabriss und Neubau in jedem Fall vorzuziehen.
 - Ist eine Sanierung wegen wirtschaftlichen oder konstruktiven Gründen nicht möglich, muss die ökologische Qualität der Neubaukonstruktionen unter Berücksichtigung vorhandener Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale überprüft werden. Zur Abwägung zwischen Ökonomie und Ökologie empfiehlt sich eine LCC unter Berücksichtigung der Umweltschadenskosten.

6 Zusammenfassung, Fazit und Ausblick

6.1 Zusammenfassung und Fazit

6.1.1 Verifizierung der Forschungshypothese

Abschließend ist zu diskutieren, ob die formulierte Forschungshypothese verifiziert werden kann (siehe auch Kapitel 1.3.1 ab Seite 5):

Mit Hilfe der Entwicklung von Kennwerten und Methoden lässt sich die ökologische Qualität von Bestands- und Neubauten sowie von Sanierungsprojekten auf städtischer Ebene bewerten. Zudem lassen sich Handlungsempfehlungen in Bezug auf die Klimaneutralität und den Energiebedarf ableiten.

Die Entwicklung ökologischer Kennwerte von Altbau-, Sanierungs- und Neubaukonstruktionen basiert auf Literaturquellen und Bautätigkeitsstatistiken, die den deutschen Wohngebäudebestand und auch den aktuellen Sanierungs- und Neubaustandard hinreichend repräsentieren. Sie bilden die Grundlage für eine LCA von Einzelbauteilen bis hin zur Stadtquartiersebene in frühen Planungsphasen, wenn die projektspezifischen Konstruktionsaufbauten noch nicht bekannt sind.

Die erarbeiteten Berechnungslogiken erlauben unter Verwendung der Gebäudeinformationen aus 3D-Stadtmodellen (im CityGML-Format, Version 2.0, LoD 2) und der entwickelten ökologischen Kennwerte eine ökologische Lebenszyklusanalyse verschiedener Szenarien auf Stadtquartiersebene.

Dies bestätigt die Anwendung der Methode auf das Fallbeispiel. Mit Hilfe der erarbeiteten Quartiersentwicklungsszenarien können die ökologischen Vor- und Nachteile verschiedener Bebauungskonzepte von Wohngebäuden diskutiert, verglichen und hinsichtlich ihrer ökologischen Qualität bewertet werden. Eine Erweiterung des Betrachtungsraums auf die städtische Ebene ist jederzeit möglich.

Verschiedene Ergebnisvisualisierungen und Kommunikationsstrategien erlauben die Ausarbeitung von Handlungsempfehlungen in Bezug auf die Klimaneutralität und den reduzierten Energieverbrauch von Wohngebäuden. Eine vergleichende Flächenberechnung und Sensitivitätsanalyse identifiziert die Ergebnisvarianzen und Unsicherheiten, die projektspezifisch durch die geeignete Wahl der Input-Parameter reduziert werden können. Folglich kann die aufgestellte Forschungshypothese verifiziert werden.

6.1.2 Wesentliche Erkenntnisse und Potentiale der Arbeit

Die Umsetzung der nationalen und internationalen Klimaschutzziele erfordert die Berücksichtigung aller einflussnehmenden Sektoren. Wie eingangs dargestellt, nimmt der Bausektor hier eine Schlüsselrolle ein. Neben dem betrieblichen Energieeinsatz dürfen auch die Grauen Energien nicht vernachlässigt werden: Allein 10 % der globalen CO₂-Emissionen resultieren aus der Herstellung von Baumaterialien wie Stahl, Zement oder Glas. Das Environment Programme der Vereinten Nationen benennt konkret die Einflüsse der Materialien über ihren Lebenszyklus hinweg als Stellschrauben für die Erreichung der Klimaziele. (UN Environment Programme, 2020, S. 3-4)

Um politische, öffentliche und private Entscheidungsträger:innen bei der Umsetzung der Klimaschutzziele mit dem Fokus auf die Baukonstruktionen unterstützen zu können, werden einheitliche ökologische Benchmarks sowie eine einheitliche Datenbank mit länderspezifischen Werten benötigt, die kostenfrei zur Verfügung stehen. Nur so können vermehrt LCA in frühen Planungsphasen durchgeführt und transparente Entscheidungen im Bauprozess getroffen werden. Jedoch sind nicht nur Benchmarks für den Neubau, sondern auch für die Sanierung erforderlich, um aufzeigen zu können, welche ökologischen Vorteile Sanierungen gegenüber Ersatzneubauten besitzen. Dies belegt die Analyse internationaler Fallstudien zur ökologischen Qualität von Baukonstruktionen im Alt- und Neubau (siehe Kapitel 2.7.1 ab Seite 39). Die Einführung des „Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG)“ (KfW, 2022) und die Anwendungsförderung vorhandener Zertifizierungssysteme (BMUB, 2015; DGNB, 2021) illustrieren, dass diese Aufgabe nicht nur seitens der Wissenschaft, sondern auch seitens der Politik und Gesellschaft erkannt wurde.

Aus diesem Grund sind ökologische Lebenszyklusbetrachtungen von Baukonstruktionen zwingend flächendeckend einzuführen. Die einzelgebäudebezogene Nachhaltigkeitszertifizierung nimmt nur geringen Einfluss. Vielmehr müssen verschiedene Baukonzepte möglichst großflächig und frühzeitig erarbeitet sowie ökologisch bewertet werden, um die positive Hebelwirkung der daraus resultierenden Maßnahmen (= Senkung der Umweltwirkungen) maximal zu steigern. Besonders im städtischen Umfeld muss die LCA auf größerer Maßstabsebene durchgeführt werden, um die inhomogenen Bestandsstrukturen besser erfassen und deren Entwicklungspotentiale hin zur Klimaneutralität besser bewerten zu können. **Für einen ganzheitlichen Ansatz muss die LCA alle Gebäudekomponenten miteinschließen:** die Baukonstruktion, die TGA und den betrieblichen Energieeinsatz. Nur so können deren Wechselwirkungen erkannt und darauf aufbauend die erforderlichen Maßnahmen zur Senkung der globalen und regionalen Treibhausgasemissionen und des Ressourcenbedarfs ergriffen werden. Dazu zählen beispielsweise Konzepte zur CO₂-Kompensation (z. B. Baumpflanzungen) oder die Etablierung von Umweltschadenskosten als ökonomischer Anreiz (vgl. Matthey und Bünger (2020) oder Schneider-Marín und Lang (2020)).

Vor diesem Hintergrund bietet die vorliegende Arbeit auf nationaler Ebene eine umfangreiche, einheitliche und transparente Datenbasis. Diese umfasst repräsentative und baualtersspezifische minimale und maximale Umweltwirkungen (GWP, PENRT und PET) von Baukonstruktionen. Auf deren Grundlage ist eine vergleichende ökologische Lebenszyklusanalyse von Altbau-, Neubau- und Sanierungsmaßnahmen von Wohngebäuden möglich. Wie Kapitel 2.7 (ab Seite 39) und Kapitel 2.8 (ab Seite 44) zeigen, besitzen bisherige Publikationen und Fallstudien zwar ähnliche methodische Ansätze, jedoch fehlt bisher eine ausreichend repräsentative Datenbasis oder die Studien umfassen nur Teilbereiche der Baukonstruktion (Röck et al., 2020).

Auf Grund unterschiedlich gewählter Systemgrenzen, können die bisher in der Literatur existierenden ökologischen Kennwerte der Baukonstruktion nicht zusammengeführt und gemeinsam verwendet werden. Eine wesentliche Stärke der hier entwickelten ökologischen Kennwerte ist die zugrunde liegende breite Datenbasis. Diese Datenbasis umfasst sowohl Altbau- und daraus resultierende Sanierungskonstruktionen als auch Neubaukonstruktionen in verschiedenen Bauweisen (Massiv- und Holzbau). Als Grundlage für die Altbaukonstruktionen dienen die Ergebnisse von Gruhler et al. (2002) und Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V. (2009b). Da die Systemgrenzen einheitlich gewählt sind, können die Daten für verschiedene vergleichende LCA in frühen Planungsphasen verwendet werden. Die projektspezifischen Konstruktionsaufbauten müssen dazu noch nicht bekannt sein, jedoch müssen gewisse Unsicherheiten akzeptiert werden.

Die Schwerpunkte weiterführender Studien, die auf Basis der ökologischen Kennwerte durchgeführt werden, können variabel gesetzt werden – z. B. Vergleich der Umweltwirkungen verschiedener Lebenszyklusphasen oder verschiedener Bauweisen. Ferner können sowohl die Ergebnisse der Einzelkonstruktionen (vgl. Anhang A.2 bis A.4, ab Seite 232) als auch die bauteilspezifischen Wertebereiche in weiterführende LCA-Studien einfließen (siehe Anhang A.6 bis A.8 ab Seite 399).

Besonders relevant ist hier die ökologische Analysemöglichkeit auf größerer Betrachtungsebene. Darauf verweisen auch Röck et al. (2021). Bisher existierende Tools, die eine LCA mit Hilfe von räumlichen Gebäudemodellen auf größerer Maßstabsebene ermöglichen, besitzen allerdings entweder keine repräsentative Datenbasis (z. B. Umi 2.0 oder CEA; vgl. Kapitel 2.9.2, ab Seite 47) oder es fehlt noch an einer Methode zur ökologischen Bewertung der Baukonstruktion (z. B. urbi+; vgl. Kapitel 2.9.3, ab Seite 48).

Mit Hilfe der ökologischen Kennwerte, der aus den semantischen 3D-Stadtmodellen stammenden Gebäudeinformationen und der entwickelten Berechnungslogiken können automatisierte und zeiteffektive LCA von Baukonstruktionen auf Quartiersebene durchgeführt werden. Dabei ist eine Maßstabserweiterung auf Stadt- oder Regionalebene methodisch jederzeit möglich. **Die entwickelten Berechnungslogiken sind so beschrieben, dass sie einfach in existierende Softwarelösungen wie urbi+, UMI 2.0 oder SimStadt, implementiert werden können** (Harter, 2021; Hochschule für Technik Stuttgart, 2022; MIT Sustainable Design Lab, 2017). Dies bestätigt die partielle Implementierung der ökologischen Kennwerte und Berechnungsschritte in das Tool urbi+ im Rahmen des

Forschungsprojektes „Grüne Stadt der Zukunft“ (Banihashemi et al., 2021). Somit sind bereits jetzt ganzheitliche ökologische Lebenszyklusanalysen unter Berücksichtigung der Baukonstruktion, TGA und des betrieblichen Energieeinsatzes auf Quartiersebene möglich.

Kapitel 5.6 ab Seite 177 zeigt, dass **die Methode und die dadurch berechneten Ergebnisse eine fundierte Fachdiskussion über verschiedene baukonstruktive Quartiersentwicklungsszenarien sowie deren Emissions- und Ressourceneinsparpotentiale in frühen Planungsphasen erlauben.** Verschiedene Optimierungspotentiale zur Umsetzung kommunaler und regionaler Klimaziele können diskutiert werden, wenn die Bauweise noch nicht konkret feststeht. Besonders kommunale Entscheidungsträger:innen, Planende oder Bauherr:innen sind darauf angewiesen. **Eine Aktualisierung der Datenbasis oder die Erweiterung um andere Szenarien ist jederzeit realisierbar.** Es werden einheitliche Systemgrenzen und Daten verwendet. Berücksichtigt werden die Lebenszyklusphasen der Herstellung (A1 bis A3), der Nutzung (B4), der Entsorgung (C3 und C4) sowie separat die Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale (Phase D). Als durchschnittliche Gebäudelebensdauer werden 50 Jahre angenommen. Die Datenermittlung konzentriert sich auf eine repräsentative Darstellung des deutschen Wohngebäudebestands. Die Methode ist international übertragbar, wenn adäquate Daten- und Literaturquellen zur Verfügung stehen.

Die Verwendung von semantischen 3D-Stadtmodellen im CityGML-Format ist zukunftsorientiert. Neben dem Export von Gebäudeinformationen können die Ergebnisse in das 3D-Stadtmodell zurückgespielt und abgespeichert werden. Damit stehen sie für weitere Quartiersbetrachtungen zur Verfügung. Ferner entwickelt sich sukzessive ein digitaler Zwilling (siehe Glossar ab Seite XIII) eines Stadtgebietes oder ganzer Regionen, der mit hochrelevanten Informationen zu dessen/deren ökologischen Performance angereichert ist. **Die Kopplung eines 3D-Stadtmodells mit der hier entwickelten LCA-Methode bewerkstelligt, dass sie leicht mit weiteren Analysemethoden und Anwendungsfeldern (wie z. B. der Freiflächen- oder Mobilitätsplanung) verknüpft werden kann. Damit kann die interdisziplinäre und digitale Planung vorangetrieben werden.** Die interdisziplinäre und digitale Planung ist deshalb so wichtig, weil dadurch bereits in frühen Planungsphasen Wechselwirkungen und Synergieeffekte zwischen verschiedenen Disziplinen und Sektoren (z. B. zwischen grünen und grauen Infrastrukturen) identifiziert werden können. Das Potential des semantischen 3D-Stadtmodells als Planungswerkzeug sowie der interdisziplinäre Ansatz muss seitens der öffentlichen Hand und der Privatwirtschaft noch besser erkannt und unterstützt werden. Ansonsten bleiben die Hebelwirkungen von Klimaschutzstrategien auf städtischer oder nationaler Ebene gering und die Umsetzung eines klimaneutralen Gebäudesektors komplex.

Die Ergebnisse der Fallstudie verdeutlichen, dass aus ökologischer Sicht und in Bezug auf die Grauen Energien und Emissionen der Baukonstruktion eine Sanierung einem Ersatzneubau vorzuziehen ist. Der Abriss der Bestandsgebäude trägt im Fallbeispiel mit einem Anteil von bis zu 50 % deutlich zu den Grauen Emissionen bei und muss

zukünftig ebenfalls bei der LCA berücksichtigt werden (siehe Kapitel 5.2.5 ab Seite 155). **Maßgebende Treiber der Umweltwirkungen sind hohe Bauteilflächenanteile (z. B. Außenwandflächen) oder Bauteile, die über hohe Umweltwirkungen je m² Bauteil verfügen (z. B. Fenster). Bei Niedrigstenergiegebäuden gewinnt die Ausführung der Baukonstruktion aus ökologischer Sicht zunehmend an Bedeutung**, da sich durch den reduzierten Heizbedarf und den vermehrten Einsatz an erneuerbaren Energien die Umweltwirkungen des Betriebs reduzieren. **Der Vergleich der Wertebereiche der einzelnen Szenarien illustriert die ökologischen Einsparpotentiale.** Die ökologische Qualität einzelner Bauweisen lässt sich in frühen Planungsphasen allerdings nicht allgemeingültig und final bestimmen. Sie hängt stark von den Szenariendefinitionen und der weiteren Bauausführung ab. **Die Fallstudie zeigt auch, dass eine klimaneutrale Bauausführung nur umgesetzt werden kann, wenn gleichzeitig Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale sowie Kompensationsmöglichkeiten aktiviert werden.** Projektspezifisch kann dies unterstützt werden, indem in der Ausführungsplanung klimaneutrale, nachwachsende, kreislauffähige und schadstoffarme Bauprodukte gewählt werden. Zukünftig müssen Bauprojekte gezielt im Kontext des Klimaschutzes und der -anpassung betrachtet werden. Nur so ist eine nachhaltig klimafreundliche und umweltgerechte Entwicklung des Bausektors möglich.

Die erarbeiteten Daten lassen neben der ökologischen Bewertung auch andere umfangreiche Analysen zu. Beispielhaft kann hier die Ermittlung des **anthropogenen Lagers** und die **Massenermittlung, strukturiert nach einzelnen Baustoffgruppen** (mineralische Baustoffe, organische Baustoffe, Metall, Glas, usw.), **für Quartiere und Städte** genannt werden. Im Anhang finden sich alle bilanzierten Bauteilkonstruktionen sowie deren Schichtenaufbauten, inklusive ihrer Schichtdicken und Rohdichten. So können baualterspezifische Abfallmengen oder Recyclingbaustoffe zeitabhängig und quantitativ erfasst werden. Dies unterstützt die Etablierung einer Kreislaufwirtschaft, damit die Baukonstruktionen des heutigen Neubaus nicht der Abfall von Morgen werden. **Ferner können auf Basis der detailliert beschriebenen Baukonstruktionen auch Kostenkennwerte entwickelt werden, die für eine Lebenszykluskostenanalyse benötigt werden.**

6.1.3 Kritische Würdigung der Gesamtergebnisse

Die entwickelten ökologischen Kennwerte und Methoden sind geeignet, um in frühen Planungsphasen eine LCA der Baukonstruktion durchzuführen und die ökologische Qualität verschiedener Quartiersszenarien sinnvoll zu analysieren. Dafür ist es erforderlich, dass die gewählten Systemgrenzen und Datengrundlagen bei der Bewertung der Ergebnisse berücksichtigt werden. Ein direkter Ergebnisvergleich mit anderen LCA-Studien ist nur möglich, wenn die gleiche Datengrundlage (ÖKOBAUDAT, Version 2020-II) und identische zeitliche und räumliche Systemgrenzen verwendet werden (siehe Kapitel 3.2.2 ab Seite 54). Vor dem Hintergrund des Klimawandels und des Ressourcenbedarfs im Bauwesen fokussiert sich diese Arbeit auf die Umweltwirkungen GWP, PENRT und PET. Darüber hinaus

existieren in den internationalen Datenbanken weitere Umweltindikatoren, die zur Bewertung des Ressourcenverbrauchs und der Emissionen relevant sein können (z. B. Versauerungspotential (AP) oder Potential für die Verknappung abiotischer Ressourcen (ADP)). Die entwickelte Methode berücksichtigt diese noch nicht, sie können jedoch leicht ergänzt werden.

Die Methode und die Berechnungslogiken sind so beschrieben, dass sie für Planende und Forschende im Bereich des Hochbaus logisch nachvollziehbar sind und von Programmierenden in eine logische Programmierung umgesetzt werden können. Bei der Erklärung der Berechnungslogiken wird keine spezifische Programmiersprache angewendet. Alle Variablen und Attribute der geometrischen und energetischen Gebäudeeigenschaften werden in englischer Sprache beschrieben, so dass sie international verständlich sind. Attribute, die bereits im CityGML-Standard (Version 2.0) definiert sind, sind farblich hervorgehoben, ebenso die neu definierten Variablen. Damit die Logiken von Programmierenden besser verstanden werden können, wird „Consolas“ als Clear-Type-Schriftart verwendet. Außerdem werden die Berechnungslogiken durch weitere Kommentare ergänzt, so dass sie Planende, Forschende und Programmierende noch besser verstehen können. Eine softwarebasierte Automatisierung der Methode ist nicht Gegenstand der Arbeit und weist weiteres Forschungspotential auf. Ansätze dazu finden sich im Forschungsprojekt „Grüne Stadt der Zukunft“ (Banihashemi et al., 2021).

Bei der Bestimmung typischer Baukonstruktionen des Wohnungsbaus wird eine möglichst breite Datengrundlage angestrebt. Die Baualtersklassen richten sich u.a. nach der zeitlichen Einführung verschiedener energetischer Standards. Um die Grauen Energien der Baukonstruktionen besser mit dem betrieblichen Energiebedarf vergleichen zu können, werden die minimalen und maximalen Umweltwirkungen baualtersklassenspezifisch ausgewiesen. Die Einteilung des Wohngebäudebestands in Baualtersklassen basiert auf BMWI und BMI (2020).

In der Fachliteratur gibt es jedoch gewisse Informationslücken in Bezug auf den genauen Schichtenaufbau, die verwendeten Materialien sowie deren Eigenschaften (Gruhler et al., 2002; Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V., 2009b). Die vorliegende Arbeit schließt diese Lücken durch fundierte Annahmen. Vor allem zu Neubaukonstruktionen bzw. zu Konstruktionen jüngerer Baualters existieren bisher deutschlandweit keine repräsentativen Bauteilkataloge. Deshalb werden diese Baukonstruktionen gezielt auf Basis von Bautätigkeitsberichten und der Analyse von Herstellerangaben erarbeitet. Bei Weiterverwendung der bilanzierten Baukonstruktionen sollten die ausgewiesenen Annahmen und die Repräsentativität der in der Literatur bereitgestellten Konstruktionsaufbauten überprüft und gegebenenfalls projektspezifisch angepasst werden. Dies gilt auch für die im 3D-Stadtmodell hinterlegten und hier verwendeten Gebäudeinformationen. Beispielsweise können die von der LHM zur Verfügung gestellten gebäudespezifischen Baujahre in Einzelfällen von der Realität abweichen. Zudem besteht keine Gewähr für Vollständigkeit der Daten.

Die herangezogenen Daten der ÖKOBAUDAT, Version 2020-II unterliegen gewissen Gültigkeitsdauern. Vor Verwendung der ökologischen Kennwerte müssen diese überprüft und gegebenenfalls aktualisiert werden. Derzeit ist die ÖKOBAUDAT in der Version 2021-II vom 25.06.2021 verfügbar (BBSR, o. J.). Die entwickelte Methode besitzt die notwendige Transparenz, damit diese Aktualisierungen vorgenommen werden können. Denn die verwendeten Materialdaten und ökologischen Datensätze werden vollständig im Anhang aufgelistet.

Bei der Ermittlung baualterstypischer Konstruktionsaufbauten werden vorangegangene Sanierungen nicht berücksichtigt. Das heißt, die Veränderung der ursprünglichen Baukonstruktion durch zwischenzeitliche Sanierungen ist nicht Gegenstand der Betrachtung. Die in der Literatur vorhandenen Angaben zu Sanierungsraten und -ausführungen im deutschen Wohngebäudebestand reichen bisher nicht aus, um hier allgemeingültige Aussagen treffen zu können (siehe z. B. Cischinsky und Diefenbach (2018)).

Mit der vorliegenden Datenbasis und der entwickelten Methode lassen sich fallstudienspezifische Ergebnisspannweiten abbilden und bewerten. Die Ermittlung der Ergebnisspannweiten ist speziell für die Anwendung in frühen Planungsphasen gedacht, in denen die genauen Konstruktionsaufbauten nicht bekannt sind und gewisse Unsicherheiten akzeptiert werden können. Die Unsicherheiten der getroffenen Annahmen werden im Rahmen dieser Arbeit diskutiert und ausgewiesen. Wichtige geometrische Eigenschaften, wie der Fensterflächenanteil oder das Verhältnis der Innen- zur Außenwandfläche sind variabel wählbar, so dass die Nutzenden hier die Unsicherheiten projektspezifisch reduzieren können. Die aus der Fallstudie resultierenden Ergebnisse sind nicht allgemeingültig auf andere Quartiersentwicklungsszenarien übertragbar. Sie zeigen jedoch Tendenzen und Wege hin zur Steigerung der ökologischen Qualität von Quartiersentwicklungen auf.

Die Methode ersetzt keine detaillierte LCA auf Gebäudeebene, die im Rahmen von Zertifizierungssystemen, wie der DGNB, gefordert wird. Um die finalen Umweltwirkungen eines Gebäudes identifizieren zu können, bedarf es einer detaillierten LCA mit Berücksichtigung der tatsächlichen Ausführung. Die LCA auf Basis von 3D-Stadtmodellen ergänzt hier die LCA, die mit Hilfe von BIM-Modellen erarbeitet wird. Dort werden alle Bauzustände digital erfasst und berechnet. Dazu existieren bereits methodische Ansätze bei Röck et al. (2018), TU München - Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen (o. J.) oder One Click LCA Ltd. (2022).

6.2 Ausblick und Empfehlungen

6.2.1 Relevanz und Empfehlungen für die Politik

Der aktuelle Koalitionsvertrag legt fest, dass Deutschland bis 2045 klimaneutral sein soll (SPD et al., 2021). Von 2020 bis 2030 müssen die Jahresemissionen von Gebäuden jährlich um ca. 4,3 % auf 67 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente reduziert werden (BMUV, 2021). Auch Städte und Kommunen wie München verfassen Maßnahmenpläne zur Erreichung der Klimaneutralität (Timpe et al., 2021). Dabei dürfen diese Ziele nicht nur als Formulierung stehen bleiben, sondern es muss überprüft werden, ob diese Ziele auch in den maßgebenden Sektoren erreicht werden. **Um für den Bausektor die Gesetzgebung gezielt entwickeln und die Fördermittel effektiv etablieren zu können, werden geeignete Analysemethoden und belastbare Daten benötigt.**

Die vorliegende Arbeit und insbesondere die Fallstudie zeigt der Politik, welche baulichen Maßnahmen ergriffen werden müssen, um den Ressourceneinsatz und den Treibhausgasausstoß im Bauwesen zu reduzieren. Sie nennt die Wertebereiche verschiedener Umweltwirkungen in Abhängigkeit von verschiedenen Bauweisen und Quartiersentwicklungsszenarien. Sie bietet Handlungsempfehlungen, die bei der Erarbeitung neuer Ressourcen- und Klimaschutzstrategien berücksichtigt werden können. Die entwickelte LCA-Methodik und die definierten Quartiersentwicklungsszenarien sind auf weitere Fallstudien übertragbar. Dadurch kann überprüft werden, ob die benannten ökologischen Optimierungen großflächig (regional oder national) gültig sind und in neue Gesetzgebungen einfließen müssen.

Die Fallstudienenergebnisse verdeutlichen die ökologischen Vorteile von Bestandssanierungen und Nachverdichtungen von Stadtquartieren. **Die Bestandssanierung reduziert nicht nur den Anteil an Grauen Energien und Emissionen, sondern gleichzeitig den betrieblichen Energiebedarf. Deshalb sollten diese Baumaßnahmen durch ökonomische Anreize und Sanierungsfahrpläne gezielt gefördert werden.**

Die Nachverdichtung durch Gebäudeaufstockung ist bevorzugt zu fördern, da dadurch im urbanen Raum zusätzlich klimatisch notwendige Frischluftschneisen gesichert werden können (Banihashemi et al., 2021). Außerdem bleiben mehr Freiräume für die Bewohner:innen erhalten, die im Zuge des Klimawandels als grüne Orte zur Erholung von Dichte- und Hitzestress genutzt werden können (Bauer et al., 2021).

Die Gegenüberstellung der Szenarienergebnisse mit und ohne Berücksichtigung der Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale weist deutlich darauf hin, dass der Ausbau der Kreislaufwirtschaft im Bausektor sowie innovative Entsorgungskonzepte zukünftig vermehrt unterstützt werden müssen. Dies verringert den primären Ressourcenabbau und die Deponieabfälle. Denkbar wäre hier die bundesweit verpflichtende Verwendung von Recyclingbeton bei öffentlichen Bauten, sowie sie 2013 von der Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt bei einem Pilotprojekt

erfolgreich untersucht wurde. Der Einsatz führte zu einer CO₂-Einsparung von 7 % für die Produktion von RC-Material gegenüber Kies (Umweltbundesamt, 2015). Dafür gilt es seitens der Politik und Praxis die erforderlichen Infrastrukturen zu etablieren. Auch die Kaskadennutzung von Holz würde die Kreislaufwirtschaft unterstützen.

Der Exkurs zur Berücksichtigung von Umweltschadenskosten (siehe Kapitel 4.7.2.2 ab Seite 128 und Kapitel 5.5.2 ab Seite 174) **zeigt, dass die derzeitige CO₂-Bepreisung von 30 €/t CO₂-Äq. für Wärme und Verkehr nicht ausreicht** (Wirth und Liedke, 2022). Auch die Mitglieder des Bundestages hegen Zweifel an der Sinnhaftigkeit und ökologischen Lenkungswirkung eines so geringen Betrages (Deutscher Bundestag, 2022). Das Umweltbundesamt schlägt als Spannweite für die durch CO₂ entstehenden Umweltschadenskosten 199 bis 684 €₂₀₂₂/t CO₂ vor (Matthey und Bünger, 2020). Dies führt bei der vorliegenden Fallstudie für die lebenszyklusbasierten Grauen Emissionen der Baukonstruktion zu zusätzlichen CO₂-Kosten von bis zu 7,84 €/(m²_{NRFxA}). **In Zeiten der Energiekrise und der ohnehin schon hohen finanziellen Belastung der Bevölkerung muss die Politik gesetzlich nachsteuern und mehr Anreize für eine Vermeidung von CO₂-Emissionen und somit von Umweltschadenskosten in Planung und Betrieb schaffen.**

Umgekehrt ist es wichtig, dass die politischen Entscheidungen und deren Auswirkungen mit Hilfe von großflächig angesiedelten LCA-Studien quantitativ und iterierend überprüft werden können und die Förderprogramme und Gesetze entsprechend angepasst werden.

6.2.2 Relevanz und Empfehlungen für die Praxis

Die Schlüsselrolle der Städte beim globalen Emissionsausstoß und Energieverbrauch ist bekannt (Climate Service Center Germany GERICS und KfW Development Bank, 2015; UN Environment Programme, 2017).

In der BEG WG (Bundesförderung für effiziente Gebäude – Wohngebäude) wird zudem deutlich auf die Förderung der Nachhaltigkeitsaspekte und Digitalisierungsmaßnahmen hingewiesen. Neben der Betriebsphase von Gebäuden sollen künftig die Treibhausgasemissionen aus der Herstellungsphase und der Lebenszyklusansatz noch stärker berücksichtigt werden (BMW, 2021, S. 1). Somit erhöht sich der Druck auf die Kommunen und Planenden, geeignete Methoden für eine großflächige ökologische Bewertung ihrer derzeitigen und künftigen heterogenen Siedlungsstrukturen zu finden.

Die in dieser Arbeit entwickelte Methode zur LCA auf Quartiersebene ist so konzipiert, dass sie von Planenden mit LCA-Kenntnissen in integrativen Planungsprozessen angewendet werden kann. Die entwickelten ökologischen Kennwerte und Methoden befähigen Planende und kommunale Entscheidungsträger:innen bauliche Maßnahmen auf Quartiersebene hinsichtlich ihrer ökologischen Qualität quantitativ begründen zu können. Alle bilanzierten Bauteile inklusive der verwendeten Datensätze je

Baumaterial können dem Anhang entnommen werden (siehe Anhang A.2 bis A.5 ab Seite 232). Auch die Bestimmung der maßgebenden Altbau-, Sanierungs- und Neubaukonstruktion wird erklärt (siehe Kapitel 3.7 ab Seite 87). So können die Konstruktionskataloge beliebig erweitert werden und die Bauteiltabellen der Anhänge A.6 bis A.8 (ab Seite 399) entsprechend aktualisiert werden.

Die Berechnungslogiken der Entwicklungsszenarien folgen keiner spezifischen Programmiersprache (vgl. A.9 und A.10 ab Seite 469). Dies gewährleistet eine leichte Verständlichkeit der einzelnen Berechnungsschritte. Planende können die Berechnungslogiken gegebenenfalls mit Hilfe von Programmierenden in die Softwarelösungen übertragen, die ihnen am geläufigsten sind.

Um die Unsicherheiten und Variationsmöglichkeiten der LCA-Ergebnisse fundierter beurteilen zu können, wird im Rahmen dieser Arbeit eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Das Sobol Sampling auf Basis einer Monte Carlo Simulation hat sich dabei sowohl in der Literatur als auch in der vorliegenden Arbeit als zweckmäßig erwiesen (vgl. Kapitel 2.6 ab Seite 36 und Kapitel 5.4 ab Seite 166). Um die Sensitivitätsanalyse in der Praxis etablieren zu können, muss bei der Programmierung auf eine Parallelisierung der Berechnungsschritte geachtet werden. Ansonsten ist die Berechnungsdauer nicht praktikabel.

Die Umsetzung der Berechnungslogiken in ein digitales Planungswerkzeug ermöglicht Planenden eine schnelle ökologische Analyse großflächiger und heterogener Wohnbebauungsstrukturen mit dem Fokus auf die Baukonstruktion. Dies zeigt die hier durchgeführte Fallstudie. **Dadurch werden inhaltliche Argumentationsgrundlagen und Handlungsempfehlungen geschaffen, die in Mustersatzungen oder Bebauungspläne aufgenommen werden können.** Es können auch erforderliche Sanierungsraten abgeleitet oder erforderliche Flächenbedarfe (wie Kompensationsflächen) identifiziert werden.

Mit Hilfe der Fallstudie zeigt die Arbeit, wie Planende bereits in frühen Planungsphasen die ökologischen Vorteile verschiedener baulicher Entwicklungsszenarien erkennen und bei Entscheidungsträger:innen kommunizieren können, ohne dass detaillierte LCA auf Gebäudeebene durchgeführt werden müssen. **Ferner weist sie auf die Notwendigkeit der vermehrten Durchführung von ökologischen Lebenszyklusanalysen hin, da deutliche Einsparmöglichkeiten dargestellt werden können.**

Das Fallbeispiel illustriert beispielsweise, inwiefern die Emissionskompensation durch Baumwachstum innerhalb und außerhalb des Quartiers eine praktikable Methode hin zur Klimaneutralität darstellt. Die „Low-Hanging-Fruits“ stellen gemäß des Fallbeispiels folgende Maßnahmen dar:

- Sanierung und Nachverdichtung im Niedrigstenergiestandard vor Gebäudeabriss und Ersatzneubau
- Bauteile mit den größten Flächenanteilen zuerst optimieren
- Bauteile mit signifikant hohen Umweltwirkungen identifizieren und deren Materialwahl ökologischer gestalten

- Materialmassen nach konstruktiven und statischen Erfordernissen auf ein Minimum reduzieren
- Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale identifizieren und nutzen sowie Kreislauffähigkeit erhöhen (Stichwort: „Circular Economy“, z. B. Etablierung der flächendeckenden Verwendung von RC-Beton)
- Langlebige, modulare und robuste Bauweisen in Kombination mit Low-Tec-Lösungen forcieren

Die Methode erlaubt die Ergebnisdarstellung mit variablen Bezügen. Es können sowohl die Gesamtumweltwirkungen auf Quartiersebene als auch die spezifischen Umweltwirkungen je m² Nettoraum- oder Wohnfläche ausgegeben werden. Insofern für ein Quartier der Wohnraumbedarf pro Kopf vorhanden ist, können somit die durch die Baukonstruktion entstehenden CO₂-Emissionen pro Kopf ermittelt werden. **Dies erleichtert Kommunen und Staaten die Überprüfung der Erreichung ihrer Klimaziele**, wie es beispielsweise mit der 2000-Watt-Gesellschaft oder mit dem EU-Forschungsprojekt CRREM angestoßen wird (EnergieSchweiz für Gemeinden und Bundesamt für Energie, 2020; Institut für Immobilienökonomie, o. J.).

Planende und Entscheidungsträger:innen sollten zukünftig vermehrt mit semantischen 3D-Stadtmodellen arbeiten. Denn wenn sie konsequent zur LCA und Speicherung der Ergebnisse verwendet werden, entsteht eine digitale und zentrale Datenbank, die sie nach der Konzeptentwicklung in frühen Planungsphasen für eine detaillierte, gebäudespezifische LCA, z. B. mit Hilfe von BIM, heranziehen können.

Die Arbeit nennt Visualisierungsmöglichkeiten, die zielgruppenorientiert verwendet werden können, um die ökologischen Auswirkungen verschiedener Baumaßnahmen mit dem Fokus auf die Baukonstruktion bewerten zu können. **Die Planungspraxis sollte vermehrt ein Augenmerk auf verständliche und zielgruppenorientierte Visualisierungen legen**, um Bauherr:innen und Bewohner:innen nicht durch vermeintlich komplexe Sachverhalte vom Ergreifen ökologisch sinnvoller Maßnahmen abzuhalten.

Die Wirtschaftlichkeit eines Bauprojektes darf nicht allein auf Basis der Investitions- und Betriebskosten beurteilt werden. **Projektentwickler:innen müssen eine Lebenszykluskostenanalyse durchführen** und hierbei sowohl die Entsorgungskosten der Baukonstruktionen als auch die lebenszyklusbasierten Umweltschadenskosten integrieren. **Die vorliegende Arbeit liefert hierzu detailliert beschriebene Bauteilaufbauten**, für die entsprechende Kostenkennwerte erarbeitet werden können.

Die Ergebnisse zeigen auch, dass es mit den derzeitigen Produktions- und Entsorgungsprozessen von Baumaterialien noch nicht möglich ist, Wohngebäude lebenszyklusbasiert gänzlich klimaneutral zu errichten. **Deshalb werden die Baupraxis und insbesondere die Baustoffhersteller dazu aufgefordert, ihre Produktionsprozesse zu optimieren und**

den Einsatz nachwachsender, erneuerbarer und klimaneutraler Ressourcen zu steigern.

6.2.3 Relevanz und Empfehlungen für die Wissenschaft

Die vorliegende Arbeit fokussiert sich auf eine LCA-Methode, die es erlaubt, die ökologische Qualität von Wohngebäuden im Bestand und Neubau auf städtischer Ebene bewerten zu können. Die Methode berücksichtigt dabei unterschiedliche Entwicklungsszenarien, die im urbanen Raum relevant sind. Die wesentlichen Erkenntnisse, wissenschaftlichen Potentiale und Grenzen der Arbeit werden in Kapitel 6.1.2 bzw. 6.1.3 ab Seite 186 benannt. Nachfolgend wird die Arbeit nochmals in den wissenschaftlichen Kontext eingeordnet und es werden Empfehlungen für die weitere Forschung ausgesprochen.

Ein wesentlicher Vorteil der Arbeit ist die maximal mögliche Transparenz der Inhalte. Bekannte Studien zur Ökologie der Baukonstruktion von Wohngebäuden liefern diese bisher nicht (vgl. Kapitel 2.7 ab Seite 39).

Im Anhang finden sich nicht nur alle Informationen, die zur Nutzung der Daten erforderlich sind, sondern in der Arbeit sind auch alle Arbeitsschritte, Systemgrenzen, Unsicherheiten und Berechnungslogiken transparent beschrieben. **Somit wird sichergestellt, dass die generierten Daten und Methoden für die weitere Forschung verwendbar sind. Die Daten können jederzeit entsprechend der Erhebungsmethodik ergänzt oder aktualisiert werden.** Zwar beinhaltet der Konstruktionskatalog nur national repräsentative Konstruktionsaufbauten, jedoch ist die Methode auch international übertragbar und der Konstruktionskatalog somit beliebig erweiterbar.

Die in dieser Arbeit ermittelten repräsentativen minimalen und maximalen Umweltwirkungen von Baukonstruktionen können darüber hinaus in die Entwicklung von europaweiten Benchmarks einfließen, wie Frischknecht et al. (2019) sie fordern.

Zur besseren Erfassung der heterogenen Stadtstrukturen sollten im Zuge der weiteren Forschung auch Baukonstruktionen erhoben werden, die typischerweise in Nichtwohngebäuden vorzufinden sind.

Darüber hinaus können die Sanierungsmaßnahmen auch mit Neubaumaßnahmen verglichen werden, die grundsätzlich geringere Umweltwirkungen verursachen. Denkbar ist hier die Erweiterung der Neubaukonstruktionen um Lehm- und Holzkonstruktionen.

Im Zuge der weiteren Forschung ist zu prüfen, inwiefern sich Handlungsempfehlungen verändern, wenn die Gebäudelebensdauern 30, 80 oder 100 Jahre betragen oder die Nutzungsdauern maßgebender Bauteile variieren.

Zur besseren Beurteilung der für den Klimaschutz erforderlichen Sanierungs- und Baukosten bis 2050 wäre eine dynamische Betrachtung der Lebenszyklen der Baukonstruktionen hilfreich. Der Konstruktionskatalog liefert hierzu ebenfalls eine ausreichende Datengrundlage.

Die Arbeit ergänzt bisherige LCA-Studien zu Wohngebäuden auf städtischer Betrachtungsebene, die dazu Daten aus GIS-Modellen verwenden (Mastrucci, Marvuglia, Popovici et al., 2017; Mastrucci et al., 2020; Österbring et al., 2019). **Der Untersuchungsumfang der Arbeit übersteigt jedoch die der bisherigen Studien.** Denn mit den Fallstudien-szenarien wird gleichzeitig die ökologische Qualität des Ausgangszustandes, der energetischen Sanierung mit und ohne Nachverdichtung sowie des Ersatzneubaus in zwei verschiedenen Bauweisen analysiert. Zudem wird der gesamte Lebenszyklus der Baukonstruktionen im Quartier von der Herstellung bis zur Entsorgung betrachtet. Ein weiterer Mehrwert der Arbeit ist, dass das GWP gemeinsam mit den Primärenergiebedarfen ausgewiesen wird. Dies erlaubt sowohl eine Diskussion zu den Klimaauswirkungen als auch zum Ressourcenverbrauch.

Die Arbeit greift auch die Forderung von Röck et al. (2020) auf, dass eine transparente und detaillierte Datengrundlage vorhanden sein muss, um mit Hilfe einer räumlichen Betrachtung und unter Verwendung von Daten aus GIS-Modellen eine Berechnung der Umweltwirkungen von der Bauteilschichtenebene bis zur Stadtebene oder nationalen Ebene durchführen zu können. Dies ist die Voraussetzung dafür, dass die LCA-Ergebnisse der verschiedenen Entwicklungsszenarien fundiert bewertet werden können.

Auch andere Publikationen zeigen, dass GIS-Modelle bzw. 3D-Stadtmodelle bereits in verschiedenen Formaten genutzt werden, um energetische oder ökologische Analysen auf größerer Maßstabsebene durchzuführen (vgl. z. B. Tabelle 2-4, Seite 45). Die vorliegende Arbeit verdeutlicht, dass die Datenstruktur von CityGML 2.0 relevante Gebäudeparameter berücksichtigt, die für die LCA von Baukonstruktionen auf Quartiersebene benötigt werden. Um vorhandene Unsicherheiten bei der Bauteilflächenbestimmung weiter reduzieren zu können, müssen im Zuge der weiteren Forschung im 3D-Stadtmodell auch die geometrischen Eigenschaften der innenliegenden Gebäudeteile und Kellergeschosse ergänzt werden. Die hierfür erforderliche Datenstruktur liegt mit Einführung von CityGML 3.0 im LoD2 bereits vor (TU München - Lehrstuhl für Geoinformatik, o. J.d).

Auch wäre es wünschenswert, wenn die Fläche der Gebäudetrennwände zentral erfasst und diese als Attribut in der Datenstruktur ergänzt werden würde. Kaden (2014) liefert hierzu das notwendige Tool, den „SharedWallSurface-Calculator“.

Für eine automatisierte Ergebnisvisualisierung ist zudem eine einheitliche Datenstruktur im CityGML-Format erforderlich, die das zentrale Abspeichern der szenarienspezifischen LCA-Ergebnisse ermöglicht. Diese existiert bisher noch nicht.

Mit Hilfe von georeferenzierten 3D-Stadtmodellen könnten zukünftig auch die Transportdistanzen von Baustoffen in der Errichtungs- (LZPH A4) oder Entsorgungsphase (LZPH C2) besser identifiziert und so deren Umweltwirkungen erfasst werden. Dazu wäre eine Erweiterung der Methode denkbar.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Arbeit für die weitere Forschung eine wichtige Datenbasis liefert, um die Grauen Emissionen und Energien des nationalen Wohngebäudebestand sowie von Neubau- und Sanierungsszenarien ökologisch bewerten zu können. Zum anderen ermöglicht die entwickelte Methode unter Berücksichtigung der

getroffenen Annahmen und genannten Unsicherheiten sowie unter Verwendung von georeferenzierten Gebäudeinformationen in frühen Planungsphasen eine fundierte ökologische Lebenszyklusanalyse von verschiedenen Baukonstruktionen auf Quartiersebene. Dabei ist sie international übertragbar. Durch die Bereitstellung der Berechnungslogiken und die transparente Darstellung aller verwendeten Daten ist die Arbeit eine wichtige Grundlage für die Weiterentwicklung von digitalen Planungswerkzeugen, mit deren Hilfe eine ökologische Analyse großer Wohngebäudebestände möglich ist.

Ein wichtiges Forschungsziel sollte die Weiterentwicklung und Optimierung digitaler Planungswerkzeuge auf Basis von 3D-Stadtmodellen sein. Denn so können zukünftig die Wechselwirkungen heterogener Stadtstrukturen im Kontext des Klimawandels und des Ressourcenverbrauchs besser erfasst und optimiert werden.

6.2.4 Schlussbemerkung

Abschließend bleibt die Erkenntnis, dass die Auswirkungen des Bausektors auf den Klimawandel nur reduziert werden können, wenn alle einflussnehmenden Faktoren möglichst großflächig und gemeinsam betrachtet werden. Für eine erfolgreiche und nachhaltige Transformation der gebauten Umwelt hin zu ihrer Klimaneutralität müssen Forschung, Praxis, Politik und Gesellschaft wie Zahnräder ineinandergreifen und eng zusammenarbeiten. Nur so münden die komplexen Herausforderungen in effektive Lösungen. Die Potentiale dieser Arbeit zur Erreichung der Klimaziele werden benannt. Nun gilt es nach dem Leitspruch „Werte haben nur einen Wert, wenn sie auch unser Handeln bestimmen“ die Ergebnisse in praktische und politische Entscheidungen zu überführen und für weitere Forschungen zu verwenden.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Das neue Klimaschutzgesetz: Jahresemissionsmengen nach Bereichen bis 2030; eigene Darstellung nach BMUV (2021)	2
Abbildung 1-2: Darstellung der Vorgehensweise; eigene Darstellung	7
Abbildung 2-1: Methodischer Rahmen einer Ökobilanzierung; eigene Darstellung nach DIN EN ISO 14044:2021-02	11
Abbildung 2-2: Lebenszyklusphasen eines Gebäudes; eigene Darstellung nach DIN EN 15978:2012-10, Bild 6.....	12
Abbildung 2-3: In der ÖKOBAUDAT, Version 2020-II vorhandene Datensatztypen; eigene Darstellung nach BBSR (2019, S. 31)	15
Abbildung 2-4: Anzahl der Gebäude mit Wohnraum sowie die Wohnungsanzahl nach Baujahr; eigene Darstellung nach Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2011a, 2011b)	18
Abbildung 2-5: Prozentuale Anteile der bei Ein- und Zweifamilienhäusern überwiegend verwendeten Baustoffe; eigene Darstellung nach Auswertung von Statistisches Bundesamt (2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2009, 2010a, 2010b, 2011, 2014a, 2014b, 2014c, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020a)	24
Abbildung 2-6: Prozentuale Anteile der bei Mehrfamilienhäusern überwiegend verwendeten Baustoffe; eigene Darstellung nach Auswertung von Statistisches Bundesamt (2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2009, 2010a, 2010b, 2011, 2014a, 2014b, 2014c, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020a)	25
Abbildung 2-7: Absatz der wichtigsten Dämmstoffe in Deutschland in Mio. m ³ pro Jahr (1989 - 2011) nach Sprengard et al. (2013)	25
Abbildung 2-8: Erfassung der Altbaukonstruktionen nach Postleitzahlgebieten nach Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V. (2009a, S. 21).....	29
Abbildung 2-9: Deutsche Marktanteile der Fensterrahmen von 1971 bis 2016; eigene Darstellung nach Verband Fenster und Fassade und Bundesverband Flachglas e.V. (2017).....	31
Abbildung 2-10: 3D-Gebäudemodelle; links im LoD1 und rechts im LoD2 nach Gröger et al. (O. J., S. 67)	34
Abbildung 2-11: Beispiel für die Darstellung und Farbcodierung eines UML-Diagramms, wie es zur Definition von CityGML verwendet wird, nach Gröger et al. (O. J.).....	35
Abbildung 3-1: Methodische Vorgehensweise bei der Entwicklung ökologischer Kennwerte von Alt- und Neubaukonstruktionen; eigene Darstellung	53
Abbildung 3-2: der Betrachtungszeitraum einer LCA; eigene Darstellung	57
Abbildung 3-3: Überblick über die Altbauteile und die Anzahl der bilanzierten Bauteilaufbauten je Baualtersklasse; eigene Darstellung (Bauteilabkürzungen siehe Tabelle 3-4).....	70
Abbildung 3-4: Überblick über die Neubauteile und die sich daraus ergebenden Bauteilaufbauten; eigene Darstellung (Bauteilabkürzungen siehe Tabelle 3-4, Seite 71)	74
Abbildung 3-5: Skizzenhafte Darstellung der Gebäudesanierung mit und ohne beheiztem Kellergeschoss; eigene Darstellung	80
Abbildung 3-6: Überblick über die Altbaukonstruktionen und deren bilanzierte Sanierungsvarianten je Baualtersklasse; eigene Darstellung (Bauteilabkürzungen siehe Tabelle 3-4, Seite 71)	82

Abbildung 3-7: Reihenfolge der für die Erstellung der ökologischen Kennwerte verwendeten Datensätze in der ÖKOBAUDAT, Version 2020-II; eigene Darstellung	84
Abbildung 3-8: Beispielhafte Vorgehensweise bei der Auswahl eines geeigneten ÖKOBAUDAT-Datensatzes; eigene Darstellung.....	85
Abbildung 3-9: Ablauf Datensatzwahl am Beispiel der Stahlbetonhohlkörperdecke nach Gruhler et al. (2002); die Ermittlung von PENRT und PET erfolgt analog; eigene Darstellung.....	86
Abbildung 3-10: Verteilung des GWP je m ² monolithischer, massiver Außenwände (Ewmas) je Baualtersklasse (BK 1 bis BK 11) und berücksichtigter Lebenszyklusphasen; eigene Darstellung.....	88
Abbildung 3-11: Verteilung des GWP je m ² Bauteil und Baualtersklasse in den Entsorgungsphasen C3 und C4 (Summe); eigene Darstellung	97
Abbildung 3-12: Jährliches GWP [kg CO ₂ -Äq.] mit und ohne Phase D für Neubaukonstruktionen je m ² Bauteil und einer Gebäudelebensdauer von 50 Jahren; eigene Darstellung.....	99
Abbildung 3-13: Jährliche PENRT und PET [kWh] mit und ohne Phase D für Neubaukonstruktionen je m ² Bauteil und einer Gebäudelebensdauer von 50 Jahren; eigene Darstellung.....	99
Abbildung 3-14: GWP der Neubaukonstruktionen [kg CO ₂ -Äq./m ² a] – Darstellung der Wertebereiche maßgebender Bauteile (LZPH A1-C4, ohne D); eigene Darstellung	100
Abbildung 3-15: PENRT der Neubaukonstruktionen [kWh/m ² a] – Darstellung der Wertebereiche maßgebender Bauteile (LZPH A1-C4, ohne D); eigene Darstellung	101
Abbildung 3-16: Jährliches GWP [kg CO ₂ -Äq.] für Sanierungskonstruktionen je m ² Bauteil (LZPH A1-C4, ohne D) und einer Gebäudelebensdauer von 50 Jahren; eigene Darstellung.....	102
Abbildung 3-17: Jährliche PENRT [kWh] für Sanierungskonstruktionen je m ² Bauteil und einer Gebäudelebensdauer von 50 Jahren (LZPH A1-C4, ohne D); eigene Darstellung	103
Abbildung 4-1: Skizzenhafte Darstellung der LCA-Methodik auf Quartiersebene; eigene Darstellung.....	107
Abbildung 4-2: Skizzenhafte Darstellung der relevanten Quartiersentwicklungsszenarien; eigene Darstellung.....	117
Abbildung 4-3: Beispielhafte Darstellung Balkendiagramm – jährliche PET der Baukonstruktion im untersuchten Quartier (links je Bauteil, rechts je LZPH); eigene Darstellung.....	128
Abbildung 4-4: Beispielhafte Darstellung Spinnennetzdiagramm – Normierte Gegenüberstellung des GWP, der PET und PENRT verschiedener Szenarien; eigene Darstellung.....	128
Abbildung 4-5: Beispiel Visualisierung – Kompensation des GWP durch Baumpflanzungen; eigene Darstellung.....	133
Abbildung 4-6: Visualisierungsbeispiel Gebäudebestand im 3D-Stadtmodell – Einfärbung nach spezifischem Primärenergiebedarf nach Harter (2021, S. 93) unter Verwendung von (FOSSGIS e.V., o. J.; TU München - Lehrstuhl für Geoinformatik, o. J.c)	134
Abbildung 5-1: 3D-Rendering Fallstudie Moosach nach Banihashemi et al. (2021, S. 14)	137
Abbildung 5-2: Bestandsgebäude im Bestandsquartier Moosach; eigene Bilder	138
Abbildung 5-3: Fallstudie Moosach, Prozentuale Verteilung der Baualtersklassen (links) und Geschossanzahlen über GOK (rechts); eigene Darstellung nach Auswertung des 3D-Stadtmodells	139
Abbildung 5-4: Fallstudie Moosach, Darstellung des 3D-Stadtmodells mit dem FZK-Viewer (KIT, 2022).....	139

Abbildung 5-5: Prozentuale Verteilung bestehender Wohngebäude nach Baualtersklassen; eigene Darstellung nach Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2018) und Landeshauptstadt München (o. J.)	140
Abbildung 5-6: Fallstudie Moosach, Beheizungssituation im Bestand und nach der Sanierung bzw. dem Ersatzneubau; eigene Darstellung	143
Abbildung 5-7: Skizzenhafte Darstellung Szenario 1; eigene Darstellung.....	143
Abbildung 5-8: Fallstudie Moosach, Szenario 1.1 bis 1.4, GWP je Bauteil bei einem Lebenszyklus von 50 Jahren; eigene Darstellung (Bauteilabkürzungen siehe Tabelle 3-4, Seite 71)	145
Abbildung 5-9: Fallstudie Moosach, Szenario 1.1 bis 1.4, PENRT und PET je Bauteil bei einem Lebenszyklus von 50 Jahren; eigene Darstellung (Bauteilabkürzungen siehe Tabelle 3-4, Seite 71)	145
Abbildung 5-10: Fallstudie Moosach, Szenario 1, Prozentuale Bauteilflächenverteilung; eigene Darstellung.....	146
Abbildung 5-11: Fallstudie Moosach, Szenario 1, Lebenszyklusbasiertes GWP je BK und NRF; eigene Darstellung	147
Abbildung 5-12: Skizzenhafte Darstellung Szenario 2.1; eigene Darstellung.....	147
Abbildung 5-13: Fallstudie Moosach, Szenario 2.1.1 bis 2.1.4, GWP je Bauteil bei einem Lebenszyklus von 50 Jahren; eigene Darstellung (Bauteilabkürzungen siehe Tabelle 3-4, Seite 71)	150
Abbildung 5-14: Fallstudie Moosach, Szenario 2.1.1 bis 2.1.4, PENRT und PET je Bauteil bei einem Lebenszyklus von 50 Jahren; eigene Darstellung (Bauteilabkürzungen siehe Tabelle 3-4, Seite 71)	151
Abbildung 5-15: Skizzenhafte Darstellung Szenario 2.2; eigene Darstellung.....	151
Abbildung 5-16: Fallstudie Moosach, Szenario 2.2.1 bis 2.2.4, GWP je Bauteil bei einem Lebenszyklus von 50 Jahren; eigene Darstellung (Bauteilabkürzungen siehe Tabelle 3-4, Seite 71)	154
Abbildung 5-17: Fallstudie Moosach, Szenario 2.2.1 bis 2.2.4, PENRT und PET je Bauteil bei einem Lebenszyklus von 50 Jahren; eigene Darstellung (Bauteilabkürzungen siehe Tabelle 3-4, Seite 71)	155
Abbildung 5-18: Skizzenhafte Darstellung Szenario 3.1; eigene Darstellung.....	155
Abbildung 5-19: Fallstudie Moosach, Szenario 3.1.1 bis 3.1.4, GWP je Bauteil bei einem Lebenszyklus von 50 Jahren; eigene Darstellung (Bauteilabkürzungen siehe Tabelle 3-4, Seite 71)	157
Abbildung 5-20: Fallstudie Moosach, Szenario 3.1.1 bis 3.1.4, PENRT und PET je Bauteil bei einem Lebenszyklus von 50 Jahren; eigene Darstellung (Bauteilabkürzungen siehe Tabelle 3-4, Seite 71)	158
Abbildung 5-21: Skizzenhafte Darstellung Szenario 3.2; eigene Darstellung.....	159
Abbildung 5-22: Fallstudie Moosach, Szenario 3.2.1 bis 3.2.4, GWP je Bauteil bei einem Lebenszyklus von 50 Jahren; eigene Darstellung (Bauteilabkürzungen siehe Tabelle 3-4, Seite 71)	161
Abbildung 5-23: Fallstudie Moosach, Szenario 3.2.1 bis 3.2.4, PENRT und PET je Bauteil bei einem Lebenszyklus von 50 Jahren; eigene Darstellung (Bauteilabkürzungen siehe Tabelle 3-4, Seite 71)	162
Abbildung 5-24: Schnitt eines Reihenmittelhauses im Stadtquartier Moosach, Baujahr ca. 1945; Kopie aus Bauplanakte, Abg. 78/1, Bd. 18.....	163
Abbildung 5-25: Sensitivitätsanalyse, GWP des Quartiers für die Szenarien 2.2.1 und 2.2.2, Auswertung S_1 und S^T ; eigene Darstellung (Bauteilabkürzungen siehe Tabelle 3-4, Seite 71)	170
Abbildung 5-26: Fallstudie Moosach, normierter Ergebnisvergleich der Szenarien 2.1 (oben links), 2.2 (oben rechts), 3.1 (unten links) und 3.2 (unten rechts); eigene Darstellung.....	172

Abbildung 5-27: Fallstudie Moosach, Visualisierung der erforderlichen Stadtlinien zur Bindung des minimal und maximal anfallenden lebenszyklusbasierten GWP; eigene Darstellung.....	176
--	-----

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Einteilung des Wohngebäudebestandes nach Baualtersklassen; eigene Darstellung nach BMWI und BMI (2020)	20
Tabelle 2-2: Wohngebäudeneubauten – GWP, PENRT und PET für Baukonstruktionen und Heiztechnik (Lebensdauer: 50 Jahre); eigene Darstellung nach König (2017, S. 119-123, 127, 128).....	41
Tabelle 2-3: Benchmark Büro- und Wohngebäude im Neubau: GWP der Baukonstruktionen; eigene Darstellung nach Braune et al. (2021).....	43
Tabelle 2-4: Verbreitung internationaler Publikationen zur LCA auf Quartiersebene zwischen 2015 und 2021 und deren Untersuchungsrahmen; eigene Darstellung.....	45
Tabelle 2-5: Publikationen zur GIS-basierten LCA auf Stadt- und/oder Quartiersebene; eigene Darstellung.....	46
Tabelle 3-1: Beschreibung und Bezeichnungen der berücksichtigten Bauteile je Kostengruppe nach DIN 276:2018-12; eigene Darstellung.....	55
Tabelle 3-2: Berücksichtigte Lebenszyklusphasen nach DIN EN 15978:2012-10, Bild 6 in Abhängigkeit des Konstruktionstyps; eigene Darstellung	58
Tabelle 3-3: Wahl der funktionellen Einheiten der Umweltwirkungen; eigene Darstellung.....	67
Tabelle 3-4: Erklärung der gewählten Bauteilabkürzungen; eigene Darstellung	71
Tabelle 3-5: Tabellenauszug aus den bilanzierten opaken Altbaukonstruktionen, Gesamtübersicht siehe Anhang A.2 ab Seite 232; eigene Darstellung	90
Tabelle 3-6: Tabellenauszug aus den bilanzierten Fensterkonstruktionen im Altbau, Gesamtübersicht siehe Anhang A.2 ab Seite 232; eigene Darstellung	90
Tabelle 3-7: Ermittlung der maßgebenden Baukonstruktionen für minimal und maximale Umweltwirkungen am Beispiel des Steildaches (PRO) in BK 1; eigene Darstellung	91
Tabelle 3-8: Min. und max. Umweltwirkungen eines Steildaches (PRO_old) im Bestand unter Berücksichtigung der Baualtersklasse bezogen auf 1 m ² Bauteilfläche; eigene Darstellung.....	92
Tabelle 3-9: Min. und max. Umweltwirkungen (GWP, PENRT und PET) eines 3-fach verglasten Holzrahmenfensters im Neubau (Wwood_nb) bezogen auf 1 m ² Bauteilfläche; eigene Darstellung.....	94
Tabelle 3-10: Tabellenauszug aus den bilanzierten Sanierungskonstruktionen, Gesamtübersicht siehe Anhang A.4 ab Seite 311; eigene Darstellung	95
Tabelle 4-1: Attributtabelle von LoD2 Gebäudemodellen im CityGML-Format (Version 2.0); eigene Darstellung nach Bayerische Vermessungsverwaltung (2018).....	110
Tabelle 4-2: Durchschnittlicher Fensterflächenanteil bei Bestandsgebäuden; eigene Darstellung nach Gruhler et al. (2002)	113
Tabelle 4-3: Durchschnittliches Flächenverhältnis von Innen- und Außenwänden; eigene Darstellung nach Gruhler et al. (2002)	114
Tabelle 4-4: Klima- und Umweltkosten ausgewählter Baustoffe für deren Herstellung (LZPH A1-A3) und Entsorgung (LZPH C3/C4); eigene Darstellung nach Matthey und Büniger (2020, S. 8, 47, 48)	131
Tabelle 4-5: Biomasse und CO ₂ -Bindungspotential von Stadtbäumen unter Verwendung des CTCC (Climate Change Resource Center, o. J.); eigene Darstellung nach Kalisch (2021, S. 52)	132
Tabelle 4-6: Kompensation des GWP durch Baumwachstum - Anzahl der benötigten Stadtbäume je m ³ Baustoff; eigene Darstellung unter Verwendung der Daten von BBSR (o. J.) und Kalisch (2021).....	132
Tabelle 5-1: Fallstudie Moosach, Übersicht Umweltwirkungen gesamt Szenario 1; eigene Darstellung.....	144

Tabelle 5-2: Fallstudie Moosach, Übersicht Umweltwirkungen gesamt Szenario 2.1; eigene Darstellung.....	149
Tabelle 5-3: Fallstudie Moosach, Übersicht Umweltwirkungen gesamt Szenario 2.2; eigene Darstellung.....	152
Tabelle 5-4: Fallstudie Moosach, Übersicht Umweltwirkungen gesamt Szenario 3.1; eigene Darstellung.....	156
Tabelle 5-5: Fallstudie Moosach, Übersicht Umweltwirkungen gesamt Szenario 3.2; eigene Darstellung.....	159
Tabelle 5-6: Fallstudie Moosach, Szenario 3.2, prozentuale Anteile einzelner Bauteile an den Grauen Energien und Emissionen des Gesamtquartiers; eigene Darstellung.....	162
Tabelle 5-7: Vergleichende Bauteiflächenberechnung, Gegenüberstellung der manuellen und automatisierten Berechnung; eigene Darstellung.....	164
Tabelle 5-8: Gegenüberstellung der Gesamtergebnisse, Szenario 1 des Einzelgebäudes, GWP, PENRT und PET nach manueller und automatisierter Flächenberechnung; eigene Darstellung.....	165
Tabelle 5-9: Sensitivitätsanalyse, Minimal- und Maximalwerte der Input-Parameter (GWP in kg CO ₂ -Äq./m ² _{Bauteil} ; Flächenverhältnisse dimensionslos); eigene Darstellung (Bauteilabkürzungen siehe Tabelle 3-4, Seite 71).....	168
Tabelle 5-10: Fallstudie Moosach, minimale und maximale Umweltschadenskosten je m ² _{NRF} und Jahr bei 50 Jahren Lebensdauer; eigene Darstellung nach Matthey und Büniger (2020, S. 8).....	174
Tabelle 5-11: Fallstudie Moosach, Vergleich der Szenarienergebnisse (Neubauten) mit Benchmarks aus der Literatur; eigene Darstellung.....	178
Tabelle A. 1: Typische U-Werte opaker und transparenter Bauteile der beheizten Gebäudehülle je Baualterklasse; eigene Darstellung nach BMWi und BMI (2020), Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (o. J.) und Thiel und Riedel (2011).....	229
Tabelle A. 2: U-Werte opaker und transparenter Bauteile der beheizten Gebäudehülle nach Passivhausstandard; eigene Darstellung nach Passivhaus Institut (2015).....	230
Tabelle A. 3: U-Werte opaker und transparenter Bauteile der beheizten Gebäudehülle nach KfW-55-Standard (Sanierung); eigene Darstellung nach KfW (2020).....	231
Tabelle A. 4: Übersicht über die bilanzierten opaken Altbaukonstruktionen inklusive der spezifischen Materialkennwerte und Umweltwirkungen; eigene Darstellung.....	232
Tabelle A. 5: Übersicht über die bilanzierten Fensterkonstruktionen im Altbau inklusive der spezifischen Materialkennwerte und Umweltwirkungen; eigene Darstellung.....	292
Tabelle A. 6: Übersicht über die bilanzierten opaken Neubaukonstruktionen inklusive der spezifischen Materialkennwerte und Umweltwirkungen; eigene Darstellung.....	296
Tabelle A. 7: Übersicht über die bilanzierten Fensterkonstruktionen im Neubau inklusive der spezifischen Materialkennwerte und Umweltwirkungen; eigene Darstellung.....	310
Tabelle A. 8: Übersicht über die bilanzierten opaken Sanierungskonstruktionen inklusive der spezifischen Materialkennwerte und Umweltwirkungen; eigene Darstellung.....	311
Tabelle A. 9: Materialspezifisch verwendete ÖKOBAUDAT-Datensätze (Version 2020-II) und Umweltwirkungen der LZPH A1-A3, C3 und C4; eigene Darstellung.....	377
Tabelle A. 10: Materialspezifisch verwendete ÖKOBAUDAT-Datensätze (Version 2020-II) und Umweltwirkungen der Phase D, durchschnittliche Nutzungsdauer und Austauschzyklen in 50 Jahren; eigene Darstellung.....	391
Tabelle A. 11: Bodenplatte Altbau – BP_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung.....	400
Tabelle A. 12: Kellerdecke in Massivbauweise, Altbau – CFLmas_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung.....	401

Tabelle A. 13: Kellerdecke- in Holzbauweise, Altbau – CFLwood_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung	403
Tabelle A. 14: Kelleraußenwand Altbau – CW_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung.....	404
Tabelle A. 15: 2-schalige Außenwand, Altbau – EW2shelled_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung	406
Tabelle A. 16: Außenwand mit Vorhang- oder hinter-/bzw. belüfteter Fassade, Altbau – EWcwf_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung.....	407
Tabelle A. 17: Massive, monolithische Außenwand, Altbau – EWmas_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung	409
Tabelle A. 18: Außenwand in Holzbauweise, Altbau – EWwood_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung	410
Tabelle A. 19: Fundament Altbau – F_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung.....	412
Tabelle A. 20: Geschossdecke in Massivbauweise, Altbau – FLmas_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung	413
Tabelle A. 21: Geschossdecke in Holzbauweise, Altbau – FLwood_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung	415
Tabelle A. 22: Flachdach in Massivbauweise, Altbau – FROmas_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung	416
Tabelle A. 23: Flachdach in Holzbauweise, Altbau – FROwood_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung	418
Tabelle A. 24: Gebäudetrennwand über GOK bei 2-schaliger Außenwand, Altbau – SW2shelled_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung.....	419
Tabelle A. 25: Gebäudetrennwand über GOK bei Außenwand mit Vorhang- oder hinter-/bzw. belüfteter Fassade, Altbau – SWcwf_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung.....	421
Tabelle A. 26: Gebäudetrennwand über GOK bei massiver, monolithischer Außenwand, Altbau – SWmas_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung.....	422
Tabelle A. 27: Gebäudetrennwand über GOK in Holzbauweise, Altbau – SWwood_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung	424
Tabelle A. 28: Innenwand in Massivbauweise, Altbau – IWmas_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung	425
Tabelle A. 29: Innenwand in Holzbauweise, Altbau – IWwood_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung	427
Tabelle A. 30: Steildach Altbau – PRO_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung.....	428
Tabelle A. 31: Gebäudetrennwand unter GOK, Altbau – SCW_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung	430
Tabelle A. 32: Oberste Geschossdecke in Massivbauweise, Altbau – TFLmas_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung	431
Tabelle A. 33: Oberste Geschossdecke in Holzbauweise, Altbau – TFLwood_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung	433
Tabelle A. 34: Alurahmen-Fenster, Altbau – Walu_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung.....	434
Tabelle A. 35: Kunststoffrahmen-Fenster, Altbau – Wplas_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung	436

Tabelle A. 36: Holzrahmen-Fenster, Altbau – Wwood_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung	437
Tabelle A. 37: Bodenplatte, beheizt, Neubau – BP_h_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung.....	440
Tabelle A. 38: Bodenplatte, unbeheizt, Neubau – BP_uh_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung	440
Tabelle A. 39: Kellerdecke in Massivbauweise, Neubau – CFLmas_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung	440
Tabelle A. 40: Kellerdecke in massiver Holzbauweise, Neubau – CFLwood_clt_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung	440
Tabelle A. 41: Kellerdecke in Holzrahmenbauweise, Neubau – CFLwood_tf_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung	441
Tabelle A. 42: Kelleraußenwand in Mauerwerksbauweise, beheizt, Neubau – CW_mas_h_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung.....	441
Tabelle A. 43: Kelleraußenwand in Mauerwerksbauweise, unbeheizt, Neubau – CW_mas_uh_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung.....	441
Tabelle A. 44: Kelleraußenwand in Stahlbetonbauweise, beheizt, Neubau – CW_rc_h_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung.....	441
Tabelle A. 45: Kelleraußenwand in Stahlbetonbauweise, unbeheizt, Neubau – CW_rc_uh_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung.....	442
Tabelle A. 46: Außenwand in Mauerwerksbauweise, Neubau – EWmas_mas_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung	442
Tabelle A. 47: Außenwand in Stahlbetonbauweise, Neubau – EWmas_rc_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung	442
Tabelle A. 48: Außenwand in massiver Holzbauweise, Neubau – EWwood_clt_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung	442
Tabelle A. 49: Außenwand in Holzrahmenbauweise, Neubau – EWwood_tf_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung	443
Tabelle A. 50: Geschossdecke in Massivbauweise, Neubau – FLmas_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung	443
Tabelle A. 51: Geschossdecke in Holzmassivbauweise, Neubau – FLwood_clt_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung	443
Tabelle A. 52: Geschossdecke in Holzrahmenbauweise, Neubau – FLwood_tf_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung	443
Tabelle A. 53: Flachdach in Massivbauweise, Neubau – FROmas_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung	444
Tabelle A. 54: Flachdach in Holzmassivbauweise, Neubau – FROwood_clt_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung	444
Tabelle A. 55: Flachdach in Holzrahmenbauweise, Neubau – FROwood_tf_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung	444
Tabelle A. 56: Innenwand in Mauerwerksbauweise, Neubau – IWmas_mas_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung	444
Tabelle A. 57: Innenwand in Stahlbetonbauweise, Neubau – IWmas_rc_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung	445
Tabelle A. 58: Innenwand in Holzmassivbauweise, Neubau – IWwood_clt_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung	445
Tabelle A. 59: Innenwand in Holzrahmenbauweise, Neubau – IWwood_tf_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung	445

Tabelle A. 60: Steildach, beheizt, Neubau – PRO_h_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung.....	445
Tabelle A. 61: Steildach, unbeheizt, Neubau – PRO_uh_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung	446
Tabelle A. 62: Gebäudetrennwand unter GOK in Mauerwerksbauweise, beheizt, Neubau – SCW_mas_h_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung.....	446
Tabelle A. 63: Gebäudetrennwand unter GOK in Mauerwerksbauweise, unbeheizt, Neubau – SCW_mas_uh_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung.....	446
Tabelle A. 64: Gebäudetrennwand unter GOK in Stahlbetonbauweise, beheizt, Neubau – SCW_rc_h_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung.....	446
Tabelle A. 65: Gebäudetrennwand unter GOK in Stahlbetonbauweise, unbeheizt, Neubau – SCW_rc_uh_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung.....	447
Tabelle A. 66: Gebäudetrennwand über GOK in Mauerwerksbauweise, Neubau – SWmas_mas_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung.....	447
Tabelle A. 67: Gebäudetrennwand über GOK in Stahlbetonbauweise, Neubau – SWmas_rc_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung.....	447
Tabelle A. 68: Gebäudetrennwand über GOK in Holzmassivbauweise, Neubau – SWwood_clt_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung.....	447
Tabelle A. 69: Gebäudetrennwand über GOK in Holzrahmenbauweise, Neubau – SWwood_tf_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung.....	448
Tabelle A. 70: Oberste Geschossdecke in Massivbauweise, Neubau – TFLmas_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung	448
Tabelle A. 71: Oberste Geschossdecke in Holzmassivbauweise, Neubau – TFLwood_clt_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung	448
Tabelle A. 72: Oberste Geschossdecke in Holzrahmenbauweise, Neubau – TFLwood_tf_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung	448
Tabelle A. 73: Alurahmen-Fenster, Neubau – Walu_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung.....	449
Tabelle A. 74: Kunststoffrahmen-Fenster, Neubau – Wplas_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung	449
Tabelle A. 75: Holzrahmen-Fenster, Neubau – Wwood_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung.....	449
Tabelle A. 76: Bodenplatte, beheizt, Sanierung – BP_h_ren: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung	451
Tabelle A. 77: Kellerdecke zu unbeheiztem Keller, Sanierung – CFL_uh_ren: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung	452
Tabelle A. 78: Kelleraußenwand im beheizten Keller, Sanierung – CW_h_ren: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung	454
Tabelle A. 79: 2-schalige Außenwand, Sanierung – EW2shelled_ren: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung	455
Tabelle A. 80: Außenwand mit Vorhang- oder hinter-/bzw. belüfteter Fassade, Sanierung – EWcwf_ren: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung.....	457

Tabelle A. 81: Außenwand in Massivbauweise, Sanierung – EWmas_ren: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung	458
Tabelle A. 82: Außenwand in Holzbauweise, Sanierung – EWwood_ren: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung	460
Tabelle A. 83: Flachdach in Massivbauweise, Sanierung – FROmas_ren: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung	461
Tabelle A. 84: Flachdach in Holzbauweise, Sanierung – FROwood_ren: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung	463
Tabelle A. 85: Steildach im beheizten Dachgeschoss, Sanierung – PRO_h_ren: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung.....	464
Tabelle A. 86: Gebäudetrennwand unter GOK im beheizten Keller, Sanierung – SCW_h_ren: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung.....	466
Tabelle A. 87: Oberste Geschossdecke zu unbeheiztem Dachgeschoss, Sanierung – TFL_uh_ren: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung.....	467
Tabelle A. 88: Definierte Variablen und Attribute zu den geometrischen und energetischen Gebäudeeigenschaften; eigene Darstellung in englischer Sprache.....	469
Tabelle A. 89: Berechnungslogik der Basisdaten; eigene Darstellung in englischer Sprache	473
Tabelle A. 90: Berechnungslogik Bauteilflächen Szenario 1, Status Quo; eigene Darstellung in englischer Sprache	475
Tabelle A. 91: Berechnungslogik Bauteilflächen Szenario 2.1, Sanierung mit gleichbleibender Gebäudekubatur; eigene Darstellung in englischer Sprache.....	477
Tabelle A. 92: Berechnungslogik Bauteilflächen Szenario 2.2, Sanierung mit Aufstockung in Holzrahmenbauweise; eigene Darstellung in englischer Sprache	481
Tabelle A. 93: Berechnungslogik Bauteilflächen Szenario 3.1 und 3.2, Abriss und Ersatzneubau in Holz- oder Massivbauweise; eigene Darstellung in englischer Sprache.....	485
Tabelle A. 94: Logik der Kennwertberechnung Szenario 1, Status Quo; eigene Darstellung in englischer Sprache	488
Tabelle A. 95: Logik der Kennwertberechnung Szenario 2.1, Sanierung mit gleichbleibender Gebäudekubatur; eigene Darstellung in englischer Sprache	492
Tabelle A. 96: Logik der Kennwertberechnung Szenario 2.2, Sanierung mit Aufstockung in Holzrahmenbauweise; eigene Darstellung in englischer Sprache	498
Tabelle A. 97: Logik der Kennwertberechnung Szenario 3.1, Abriss und Ersatzneubau in Holzbauweise; eigene Darstellung in englischer Sprache	505
Tabelle A. 98: Logik der Kennwertberechnung Szenario 3.2, Abriss und Ersatzneubau in Massivbauweise; eigene Darstellung in englischer Sprache	512

Literaturverzeichnis

- AgiliCity d.o.o (Hrsg.). (o. J.). *Parametric Urban Design Software Key Features - Modelur*. Zugriff am 17.01.2023. Verfügbar unter: <https://modelur.com/features/>
- Asam, C. (2017, August). *Dämmmaßnahmen an Gebäudefassaden. Eine Zusammenfassung derzeit aktueller Diskussionspunkte* (BBSR, Hrsg.) (BBS-Analysen Kompakt 11/2017). Bonn. Zugriff am 11.10.2021. Verfügbar unter: https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/analysen-kompakt/2017/ak-11-2017-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=1
- Banihashemi, F., Erlwein, S., Harter, H., Meier-Dotzler, C., Zölch, T., Bauer, A. et al. (2021, September). *Grüne und Graue Maßnahmen für die Siedlungsentwicklung. Klimaschutz und Klimaanpassung in wachsenden Städten*. Broschüre über Forschungsergebnisse (Technische Universität München, Hrsg.). München. Zugriff am 11.10.2021. Verfügbar unter: https://www3.ls.tum.de/fileadmin/w00bds/lapl/Bilder/Projekte/GrueneStadt/Broschure_2.pdf
- Bastos, J., Batterman, S. & Freire, F. (2014). Life-cycle energy and greenhouse gas analysis of three building types in a residential area in Lisbon. *Energy and Buildings*, 69, 344-353. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.010>
- Bauer, A., Mittermüller, J., Rupp, J., Wutz, S., Dehnhardt, A., Heyer, H. et al. (2021, September). *Grün in der wachsenden Stadt. Perspektiven und Aktivierung der Stadtgesellschaft*. Broschüre über Forschungsergebnisse (Technische Universität München, Hrsg.). München. Zugriff am 08.12.2022. Verfügbar unter: https://www3.ls.tum.de/fileadmin/w00bds/lapl/Bilder/Projekte/GrueneStadt/Broschure_3.pdf
- BauNetz. (o. J.). *Baualterstufe der 80er Jahre, Altbau, Baualterstufen, Baunetz_Wissen*, BauNetz. Zugriff am 25.05.2020. Verfügbar unter: <https://www.baunetzwissen.de/altbau/fachwissen/baualterstufen/baualterstufe-der-80er-jahre-649849>
- Bayerische Vermessungsverwaltung. (2018, März). *Kundeninformation LoD2 Gebäudemodelle*. Zugriff am 22.03.2022. Verfügbar unter: https://www.ldbv.bayern.de/file/pdf/6723/Kundeninformation_LoD2.pdf
- BBSR (Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat, Hrsg.). (o. J.). *ÖKOBAUDAT*. Zugriff am 06.04.2021. Verfügbar unter: <https://oekobaudat.de/>
- BBSR. (2017, Februar). *Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)*. Zugriff am 04.05.2021. Verfügbar unter: https://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/Nutzungsdauer_Bauteile/BNB_Nutzungsdauern_von_Bauteilen_2017-02-24.pdf
- BBSR (Hrsg.). (2019). *Ökobaudat. Grundlage für die Gebäudeökobilanzierung* (Forschung für die Praxis Band 9). Bonn. Zugriff am 25.05.2021. Verfügbar unter: https://www.oekobaudat.de/fileadmin/downloads/0068G_BF_200106ms.pdf
- BBSR. (2020). *Methodik und Anwendung - Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)*. Zugriff am 04.05.2021. Verfügbar unter: <https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/bewertungssystem/methodik-und-anwendung/>
- Benner, J. (2018, März). *CityGML Energy ADE V. 1.0 Specification*. Karlsruhe. Zugriff am 21.07.2020. Verfügbar unter: http://www.citygmlwiki.org/images/3/38/Energy_ADE_specification_2018_03_25.pdf

-
- Bergner, H. & Volz, H. (2012). 4 C Tragwerksentwurf und Vorbemessung. In K.-J. Schneider, A. Goris & A. Albert (Hrsg.), *Bautabellen für Ingenieure. Mit Berechnungshinweisen und Beispielen* (20. Aufl., [aktualisierte Neuaufl.], 4.84–4.119). Köln: Werner.
- Berzola, Z. (2020, September). *UMI GIS Importer*, MIT Sustainable Design Lab. Zugriff am 16.12.2020. Verfügbar unter: <https://umidocs.readthedocs.io/en/develop/docs/plugins/gis-importer.html>
- Bill, R. (2003). *Grundlagen der Geo-Informationssysteme. GI-Vorlesungen 2003*. Rostock: Universität Rostock. Zugriff am 22.04.2020. Verfügbar unter: <http://iggilab.auf.uni-rostock.de/vorlesung-doc/GIS-Grundlagen2003.pdf>
- Binderholz Bausysteme GmbH (Hrsg.). (o. J.). *Binderholz Brettsperrholz BBS*. Zugriff am 01.10.2021. Verfügbar unter: https://www.binderholz.com/fileadmin/user_upload/books/de/bbs/10/index.html
- BMUB. (o. J.). *Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) - Ersatzverfahren. Vereinfachter Nachweis - Ökobilanz 1.1.1-1.1.5 und 1.2.1, 1.2.2*. Zugriff am 25.05.2021. Verfügbar unter: https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/fileadmin/publikationen/BNB_SGA_01_0.pdf
- BMUB. (2015). *Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) - Neubau Büro- und Verwaltungsgebäude. Bilanzierungsregeln für die Erstellung von Ökobilanzen*. Zugriff am 25.08.2021. Verfügbar unter: https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/fileadmin/steckbriefe/verwaltungsgebaeude/neubau/v_2015/LCA-Bilanzierungsregeln_BNB_BN_2015.pdf
- BMUB. (2017). *Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB). Kriteriensteckbrief 1.1.1 - Ökologische Qualität, Treibhausgaspotential*. Version V 2017. Zugriff am 31.12.2021. Verfügbar unter: https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/fileadmin/steckbriefe/verwaltungsgebaeude/be-stand___komplettmassnahme/v_2017/BNB_BK2017_111.pdf
- BMUB & UBA (Hrsg.). (2015). *Eco Design Kit - B2 Analyse und Bewertungsmethoden. B2.4 Datenbanken*. Zugriff am 25.05.2021. Verfügbar unter: <https://www.ecodesignkit.de/methoden/b2-analyse-und-bewertungsmethoden/>
- BMUV. (2021). *Novelle des Klimaschutzgesetzes beschreibt verbindlichen Pfad zur Klimaneutralität 2045*. BMUV-Pressemitteilung Nr. 098/21. Zugriff am 03.01.2022. Verfügbar unter: <https://www.bmu.de/pressemitteilung/novelle-des-klimaschutzgesetzes-beschreibt-verbindlichen-pfad-zur-klimaneutralitaet-2045>
- BMWi. (o. J.a). *Deutsche Klimaschutzpolitik*, BMWi. Zugriff am 25.05.2021. Verfügbar unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/klimaschutz-deutsche-klimaschutzpolitik.html>
- BMWi. (o. J.b). *Europäische Energiepolitik*, BMWi. Zugriff am 25.05.2021. Verfügbar unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/europaeische-energiepolitik.html>
- BMWi. (2021, 18. Oktober). *Richtlinie für die Bundesförderung für effiziente Gebäude - Wohngebäude (BEG WG) vom 16.09.2021*. Zugriff am 03.01.2022. Verfügbar unter: https://www.deutschland-machts-effizient.de/KAENEF/Redaktion/DE/PDF-Anlagen/BEG/bundesfoerderung-f%C3%BCr-effiziente-gebaeude-wohngebaeude-20210916.pdf?__blob=publicationFile&v=3
- BMWi & BMI. (2020, 8. Oktober). *Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand*. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie; Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat. Zugriff am 28.06.2021. Verfügbar unter: <https://www.bundesanzeiger.de/pub/publication/qzQUGd8A3unSCCbVMcf?1>
- Böhmer, H., Fanslau-Görlitz, D. & Zedler, J. (2010). *U-Werte alter Bauteile. Arbeitsunterlagen zur Rationalisierung wärmeschutztechnischer Berechnungen bei der Modernisierung* [Vollst. überarb. und erw. Aufl.]. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verl.

- Borrmann, A., König, M., Koch, C. & Beetz, J. (2021). Die BIM-Methode im Überblick. In A. Borrmann, M. König, C. Koch & J. Beetz (Hrsg.), *Building Information Modeling. Technologische Grundlagen und Industrielle Praxis* (VDI-Buch, 2. Auflage, S. 1-31). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Botzler, S., Dotzler, C., Eichel, P., Hofbauer, J., Januzaj, E., Kierdorf, D. et al. (2017). *HoEff-CIM, Energieeffiziente Hochschule, Campus Information Modelling. Erstellung eines Stufenplans zur Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen auf einem Hochschulcampus im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung im Förderschwerpunkt EnBop*. Schlussbericht. München. Zugriff am 30.07.2021. Verfügbar unter: http://www.hoeff.info/media/schlussbericht/Schlussbericht_HoEff-CIM.pdf
- Braune, A., Ekhvaia, L. & Quante, K. (2021, August). *Benchmarks für die Treibhausgasemissionen der Gebäudekonstruktion. Ergebnisse einer Studie mit 50 Gebäuden* (DGNB e.V., Hrsg.). Zugriff am 08.01.2022. Verfügbar unter: https://static.dgnb.de/fileadmin/dgnb-ev/de/themen/Klimaschutz/Toolbox/102021_Studie-Benchmarks-fuer-die-Treibhausgasemissionen-der-Gebaeudekonstruktion.pdf
- BRE (Hrsg.). (2022). *BREEAM: the world's leading sustainability assessment method for master-planning projects, infrastructure and buildings*. Zugriff am 30.07.2021. Verfügbar unter: <https://www.breeam.com/>
- Bundesamt für Kartographie und Geodäsie. (2022, Januar). *Dokumentation, 3D Gebäudemodell Deutschland - LoD2. Produktstand 2021*. Leipzig. Zugriff am 22.03.2022. Verfügbar unter: https://sg.geodatenzentrum.de/web_public/gdz/dokumentation/deu/LoD2-DE.pdf
- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (Hrsg.). (o. J.). *EnEV 2014. Wichtigste Änderungen gegenüber der EnEV 2009: Neubau/Bestand*. Zugriff am 25.05.2020. Verfügbar unter: <https://www.febs.de/gesetze-normen/energieeinsparverordnung/enev-2014>
- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (Hrsg.). (2020). *EnEV-Historie*. Zugriff am 20.05.2020. Verfügbar unter: <https://www.febs.de/gesetze-normen/energieeinsparverordnung/enev-historie>
- Ceresana (Hrsg.). (2021). *Marktstudie Dämmstoffe. Europa*. Zugriff am 26.08.2021. Verfügbar unter: <https://www.ceresana.com/de/marktstudien/industrie/daemmstoffe-europa>
- Cerezo Davila, C. & Reinhart, C. (26.-28.08.13). *Urban Energy Lifecycle: an analytical framework to evaluate the embodied energy use of urban developments*. 13th Conference of International Building Performance Simulation Association. Proceedings of BS2013, Chambéry, Frankreich. Zugriff am 29.04.2020. Verfügbar unter: http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2013/p_1351.pdf
- Chen, Y., Hong, T. & Piette, M. (2017). Automatic generation and simulation of urban building energy models based on city datasets for city-scale building retrofit analysis. *Applied Energy*, 205, 323-335. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.07.128>
- Cischinsky, H. & Diefenbach, N. (2018, 17. April). *Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016. Datenerhebung zu den energetischen Merkmalen und Modernisierungsraten im deutschen und hessischen Wohngebäudebestand*. Darmstadt: IWU. Zugriff am 12.09.2019. Verfügbar unter: <http://wohngebaeuedaten2016.iwu.de/dl/Endbericht%20Datenerhebung%20Wohngeb%C3%A4udebestand%202016.pdf>
- Climate Change Resource Center (Hrsg.). (o. J.). *CUFR Tree Carbon Calculator (CTCC)*. Zugriff am 02.05.2022. Verfügbar unter: <https://www.fs.usda.gov/ccrc/tool/cufr-tree-carbon-calculator-ctcc>
- Climate Service Center Germany GERICS & KfW Development Bank (Hrsg.). (2015, November). *Climate-Focus-Paper. Cities and Climate Change*. Hamburg. Zugriff am 03.01.2022. Verfügbar unter: https://www.gerics.de/imperia/md/content/csc/cities_focus_paper_tou.pdf

-
- Co2online (Hrsg.). (2022, 28. November). *Heizkosten für verschiedene Energieträger und Heizsysteme in Deutschland. Durchschnittliche Heizkosten pro Quadratmeter Gebäudefläche im Abrechnungsjahr 2021. Beispiel für ein mittelgroßes Mehrfamilienhaus mit 501 bis 1.000 m² Gebäudefläche*. Zugriff am 28.11.2022. Verfügbar unter: <https://www.heizspiegel.de/heizkosten-pruefen/heizkosten-pro-m2-vergleich/#c86583>
- Colling, F. (2012). Holzbau nach Eurocode 5. In K.-J. Schneider, A. Goris & A. Albert (Hrsg.), *Bautabellen für Ingenieure. Mit Berechnungshinweisen und Beispielen* (20. Aufl., [aktualisierte Neuaufl.]). Köln: Werner.
- Dataholz.eu (Hrsg.). (2021). *Katalog bauphysikalisch und ökologisch geprüfter Holzbauteile*. Zugriff am 13.07.2021. Verfügbar unter: <https://www.dataholz.eu/>
- Dena. (2007, 10. September). *Die neue Energieeinsparverordnung (EnEV 2007)*. Zugriff am 25.05.2020. Verfügbar unter: https://www.febs.de/fileadmin/Gesetze_und_Normen/dena-zusammenfassung-enev-2007.pdf
- Dena (Hrsg.). (2009, 29. April). *Zusammenfassung. Entwurf zur Novellierung der Energieeinsparverordnung (Entwurf zur EnEV 2009)*. Zugriff am 25.05.2020. Verfügbar unter: https://www.febs.de/fileadmin/Gesetze_und_Normen/dena-zusammenfassung-enev-2009.pdf
- Deutscher Bundestag. Verordnung Über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung – WärmeschutzV). WärmeschutzV 1977. Zugriff am 25.05.2020. Verfügbar unter: https://www.febs.de/fileadmin/Gesetze_und_Normen/waermeschutzverordnung-1977.pdf
- Deutscher Bundestag. Verordnung Über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung – WärmeschutzV). WärmeschutzV 1984. Zugriff am 25.05.2020. Verfügbar unter: https://www.febs.de/fileadmin/Gesetze_und_Normen/waermeschutzverordnung-1977.pdf
- Deutscher Bundestag. Wärmeschutzverordnung (WärmeschutzVO) - Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden. WSVO 1995. Zugriff am 25.05.2020. Verfügbar unter: https://www.febs.de/fileadmin/Gesetze_und_Normen/waermeschutzverordnung-1995.pdf
- Deutscher Bundestag. Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV). EnEV 2002. Zugriff am 25.05.2020. Verfügbar unter: https://www.febs.de/fileadmin/Gesetze_und_Normen/langfassung-enev-2002.pdf
- Deutscher Bundestag. Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV) vom 16.11.2001 (BGBl. 1 S. 3085), geändert durch Artikel 296 der Verordnung vom 25.11.2003 (BGBl. 1, S. 2304, 2341). EnEV 2004. Zugriff am 25.05.2020. Verfügbar unter: https://www.febs.de/fileadmin/Gesetze_und_Normen/bekanntmachung-bundesgesetzblatt-enev-2004.pdf
- Deutscher Bundestag. (2013, Teil I). Zweite Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung. EnEV 2013. *Bundesgesetzblatt, 2013, Teil I* (67), 3951-3990. Zugriff am 04.01.2021. Verfügbar unter: https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?start=//%5B@attr_id=%27bgbl113067.pdf%27%5D#__bgbl__%2F%2F%5B%40attr_id%3D%27bgbl113067.pdf%27%5D__1641286264044
- Deutscher Bundestag. Bundes-Klimaschutzgesetz vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2513), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3905) geändert worden ist. KSG. Zugriff am 28.12.2021. Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/BJNR251310019.html>

- Deutscher Bundestag. (2020, Teil I). Gesetz zur Vereinheitlichung des Energieeinsparrechts für Gebäude und zur Änderung weiterer Gesetze. GEG. *Bundesgesetzblatt, 2020, Teil I (37)*, 1728-1794. Zugriff am 04.01.2021. Verfügbar unter: [https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&bk=Bundesanzeiger_BGBl&start=//*\[@attr_id=%27bgbl107s1519.pdf%27\]#__bgbl__%2F%2F%5B%40attr_id%3D%27bgbl120s1728.pdf%27%5D__1612887110102](https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&bk=Bundesanzeiger_BGBl&start=//*[@attr_id=%27bgbl107s1519.pdf%27]#__bgbl__%2F%2F%5B%40attr_id%3D%27bgbl120s1728.pdf%27%5D__1612887110102)
- Deutscher Bundestag. (2022, 28. April). *Deutscher Bundestag - Regelung zur Übernahme des CO₂-Preises überwiesen*. Zugriff am 04.08.2022. Verfügbar unter: <https://www.bundestag.de/dokumente/textarchiv/2022/kw17-de-co2-preis-889624>
- DGNB (Hrsg.). (2014). *DBGN Navigator. Allgemeine FAQ*. Zugriff am 31.12.2021. Verfügbar unter: <https://www.dgnb-navigator.de/Navigation/navGlossary#L>
- DGNB (Hrsg.). (2018). *Ökobilanz des Gebäudes. ENV1.1*. Zugriff am 26.08.2021. Verfügbar unter: https://static.dgnb.de/fileadmin/dgnb-system/de/gebaeude/neubau/kriterien/02_ENV1.1_Oeko-bilanz-des-Gebaeudes.pdf
- DGNB (Hrsg.). (2021). *Das Zertifizierungssystem, DGNB System*. Zugriff am 04.05.2021. Verfügbar unter: <https://www.dgnb-system.de/de/system/index.php>
- DGNB (Hrsg.). (2022). *DGNB System. Übersicht aller Kriterien für Gebäude Neubau*. Zugriff am 17.05.2022. Verfügbar unter: <https://www.dgnb-system.de/de/gebaeude/neubau/kriterien/index.php>
- Diefenbach, N., Cischinsky, H., Rodenfels, M. & Clausnitzer, K.-D. (2010, 9. Dezember). *Datenbasis Gebäudebestand. Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand* (1. Auflage) (IWU, Hrsg.). Darmstadt. Zugriff am 30.07.2020. Verfügbar unter: http://datenbasis.iwu.de/dl/Endbericht_Datenbasis.pdf
- DIN 18195:2017-07. *DIN 18195:2017-07, Abdichtung von Bauwerken - Begriffe*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN 18531-1:2017-07. *DIN 18531-1:2017-07, Abdichtung von Dächern sowie von Balkonen, Loggien und Laubengängen - Teil 1: Nicht genutzte und genutzte Dächer - Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN 18531-3:2017-07. *DIN 18531-3:2017-07, Abdichtung von Dächern sowie von Balkonen, Loggien und Laubengängen - Teil 3: Nicht genutzte und genutzte Dächer - Auswahl, Ausführung und Details*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN 18533-1:2017-07. *DIN 18533-1:2017-07, Abdichtung von erdberührten Bauteilen - Teil 1: Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN 18533-3:2017-07. *DIN 18533-3:2017-07, Abdichtung von erdberührten Bauteilen - Teil 3: Abdichtung mit flüssig zu verarbeitenden Abdichtungsstoffen*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN 276:2018-12. *DIN 276:2018-12, Kosten im Bauwesen*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN 277:2021-08. *DIN 277:2021-08, Grundflächen und Rauminhalte im Hochbau*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN 4108-4:2020-11. *DIN 4108-4:2020-11, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN EN 15643:2021-12. *DIN EN 15643:2021-12, Nachhaltigkeit von Bauwerken - Allgemeine Rahmenbedingungen zur Bewertung von Gebäuden und Ingenieurbauwerken*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN EN 15804:2020-03. *DIN EN 15804:2020-03, Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.

-
- DIN EN 15978:2012-10. *DIN EN 15978:2012-10, Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN EN ISO 10077-1:2020-10. *DIN EN ISO 10077-1:2020-10, Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten - Teil 1: Allgemeines (ISO 10077-1:2017, korrigierte Fassung 2020-02); Deutsche Fassung EN ISO 10077-1:2017*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN EN ISO 10456:2010-05. *DIN EN ISO 10456:2010-05, Baustoffe und Bauprodukte - Wärme- und feuchtetechnische Eigenschaften - Tabellierte Bemessungswerte und Verfahren zur Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn- und Bemessungswerte (ISO_10456:2007_+ Cor._1:2009); Deutsche Fassung EN_ISO_10456:2007_+ AC:2009*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN EN ISO 14040:2021-02. *DIN EN ISO 14040:2021-02, Umweltmanagement - Ökobilanz*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN EN ISO 14044:2021-02. *DIN EN ISO 14044:2021-02, Umweltmanagement - Ökobilanz*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- Dossche, C., Boel, V. & Corte, W. de. (2017). Use of Life Cycle Assessments in the Construction Sector: Critical Review. *Procedia Engineering*, 171, 302-311. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.338>
- Dotzler, C., Botzler, S., Kierdorf, D. & Lang, W. (2018). Methods for optimising energy efficiency and renovation processes of complex public properties. *Energy and Buildings*, 164, 254-265. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.12.060>
- Dotzler, C., Hessinger, J., Kurzer, C., Schneider-Marin, P. & Volz, C. (2019). *Hybridbau - Holzaußenwände* (DETAIL Praxis, Erste Auflage). München: DETAIL.
- Dr. Klein Wowi Finanz AG (Hrsg.). (o. J.). *Plattenbauarten*. Zugriff am 25.05.2020. Verfügbar unter: <https://www.wowi.de/plattenbauarten.html>
- Ecoinvent. (o. J.). *ecoinvent*. Zugriff am 22.01.2023. Verfügbar unter: <https://ecoinvent.org/>
- Eicke-Henning, W. (2017). *Vom Flechtwerk zum Dämmpaket* (Historischer Wärmeschutz: Geschichte der Dämmstoffe). Frankfurt am Main: Energienstitut-Hessen. Zugriff am 07.04.2020. Verfügbar unter: <https://www.nei-dt.de/Downloads/Geschichte%20der%20Daemmstoffe-Eicke-Hennig-2017.pdf>
- EnergieSchweiz für Gemeinden & Bundesamt für Energie (Hrsg.). (2020, Oktober). *Kurzfassung - Leitkonzept 2000-Watt-Gesellschaft. Beitrag zu einer klimaneutralen Schweiz*. Zugriff am 16.12.2020. Verfügbar unter: https://www.local-energy.swiss/dam/jcr:5126840c-c16d-4019-aea0-c2e0f055329b/Leitkonzept-2000WG_vOkt2020_kurz_de.pdf
- UN Environment Programme. (2017). *Cities and climate change*, UN Environment. Zugriff am 03.01.2022. Verfügbar unter: <https://www.unep.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/cities/cities-and-climate-change>
- UN Environment Programme (Hrsg.). (2019, Februar). *Sand and Sustainability. Finding new solutions for environmental governance of global sand resources*. Genf, Schweiz. Zugriff am 02.07.2021. Verfügbar unter: https://unepgrid.ch/storage/app/media/documents/Sand_and_sustainability_UNEP_2019.pdf
- UN Environment Programme (Hrsg.). (2020). *2020 Global Status Report for Buildings and Construction. Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector, Executive Summary*. Zugriff am 29.06.2021. Verfügbar unter: https://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/Buildings%20GSR_Executive_Summary%20FINAL_0.pdf
- Erdmann, L. & Behrendt, S. (2011, September). *Kritische Rohstoffe für Deutschland. Identifikation aus Sicht deutscher Unternehmen wirtschaftlich bedeutsamer mineralischer Rohstoffe, deren*

- Versorgungslage sich mittel- bis langfristig als kritisch erweisen könnte.* Berlin: Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT). Zugriff am 02.07.2021. Verfügbar unter: <https://www.izt.de/fileadmin/downloads/pdf/54416.pdf>
- ETH Zürich - The A/S group. (o. J.). *default databases*, ETH Zürich - The A/S group. Zugriff am 16.12.2020. Verfügbar unter: https://docs.google.com/presentation/d/1xMG-Vhmqh0jwdLih6WgwFzJrzhIPGdocQKdzZvYnvil/edit#slide=id.g32ec60861d_0_37
- ETH Zürich - The A/S group (ETH Zürich - The A/S group, Hrsg.). (2021). *Overview, City Energy Analyst (CEA)*, ETH Zürich - The A/S group. Zugriff am 16.12.2020. Verfügbar unter: <https://city-energyanalyst.com/overview>
- Europäische Kommission. (o. J.a). *Climate Action - Climate strategies and targets*. Zugriff am 25.05.2021. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies_en
- Europäische Kommission (Hrsg.). (o. J.b). *Level(s). European framework for sustainable buildings*. Zugriff am 30.07.2021. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/environment/levels_de
- Europäische Kommission (Hrsg.). (2019). *Europäischer Grüner Deal*. Zugriff am 30.07.2021. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de
- Ewertowska, A., Pozo, C., Gavalda, J., Jiménez, L. & Guillén-Gosálbez, G. (2017). Combined use of life cycle assessment, data envelopment analysis and Monte Carlo simulation for quantifying environmental efficiencies under uncertainty. *Journal of Cleaner Production*, 166, 771-783. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.215>
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hrsg.). (2021, 24. Februar). *Marktanteil von Nawaro-Dämmstoffen wächst*. Zugriff am 17.09.2021. Verfügbar unter: <https://www.fnr.de/presse/pressemitteilungen/aktuelle-mitteilungen/aktuelle-nachricht/marktanteil-von-nawaro-daemmstoffen-waechst>
- Feng, H., Liyanage, D., Karunathilake, H., Sadiq, R. & Hewage, K. (2020). BIM-based life cycle environmental performance assessment of single-family houses: Renovation and reconstruction strategies for aging building stock in British Columbia. *Journal of Cleaner Production*, 250, 119543. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119543>
- Fonseca, J., Nguyen, T.-A., Schlueter, A. & Marechal, F. (2016). City Energy Analyst (CEA): Integrated framework for analysis and optimization of building energy systems in neighborhoods and city districts. *Energy and Buildings*, 113, 202-226. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.055>
- FOSSGIS e.V. (o. J.). *OpenStreetMap - Deutschland. Die freie Wiki-Weltkarte*. Zugriff am 05.05.2022. Verfügbar unter: <https://openstreetmap.de/>
- Frischknecht, R., Balouktsi, M., Lützkendorf, T., Aumann, A., Birgisdottir, H., Ruse, E. et al. (2019). Environmental benchmarks for buildings: needs, challenges and solutions - 71st LCA forum, Swiss Federal Institute of Technology, Zürich, 18 June 2019. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 24(12), 2272-2280. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01690-y>
- Giebeler, G., Fisch, R., Krause, H., Musso, F., Petzinka, K.-H. & Rudolphi, A. (2008). *Atlas Sanierung. Instandhaltung, Umbau, Ergänzung*. Basel: Birkhäuser.
- Giraffe Technology Pty Ltd (Hrsg.). (o. J.). *The Why, What, and How of Lifecycle Carbon Analysis on the Giraffe Blog*. Zugriff am 17.01.2023. Verfügbar unter: <https://www.giraffe.build/post/the-why-what-and-how-of-lifecycle-carbon-analysis>
- Goris, A. & Schmitz, U. (2012). Stahlbeton- und Spannbetonbau nach Eurocode 2. In K.-J. Schneider, A. Goris & A. Albert (Hrsg.), *Bautabellen für Ingenieure. Mit Berechnungshinweisen und Beispielen* (20. Aufl., [aktualisierte Neuaufl.], 5.25-5.173). Köln: Werner.

-
- Graubner, C. & Knauff, A. (2008). *Ökobilanzstudie. Gegenüberstellung Massivhaus / Holzelementbauweise an einem KfW Energiesparhaus 40*. Forschungsbericht F04-8-2008. Technische Universität Darmstadt.
- Groen, E., Heijungs, R., Bokkers, E. & Boer, I. de. (2014). Methods for uncertainty propagation in life cycle assessment. *Environmental Modelling & Software*, 62, 316-325. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.10.006>
- Gröger, G., Kolbe, T., Nagel, C. & Häfele, K.-H. (OGS, Hrsg.). (o. J.). *OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard. Version 2.0.0*. Verfügbar unter: <http://www.open-gis.net/spec/citygml/2.0>
- Grow my Tree GmbH. (2022, 5. Mai). *Deine Bäume pflanzen. Deine GROW MY TREE Baum-Palette*. Zugriff am 05.05.2022. Verfügbar unter: <https://growmytree.com/collections/baeume-pflanzen>
- Gruhler, K., Böhm, R., Deilmann, C. & Schiller, G. (2002). *Stofflich-energetische Gebäudesteckbriefe. Gebäudevergleiche und Hochrechnungen für Bebauungsstrukturen* (IÖR Schriften 38). Dresden: Leibnitz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. Zugriff am 12.03.2020. Verfügbar unter: <https://www.ssoar.info/ssoar/handle/document/39685>
- Häfliger, I.-F., John, V., Passer, A., Lasvaux, S., Hoxha, E., Saade, M. et al. (2017). Buildings environmental impacts' sensitivity related to LCA modelling choices of construction materials. *Journal of Cleaner Production*, 156, 805-816. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.052>
- Hafner, A., Rüter, S., Ebert, S., Schäfer, S., König, H., Cristofaro, L. et al. (2017, April). *Treibhausgasbilanzierung von Holzgebäuden. Umsetzung neuer Anforderungen an Ökobilanzen und Ermittlung empirischer Substitutionsfaktoren (THG-Holzbau)*. Forschungsbericht. Zugriff am 30.07.2021. Verfügbar unter: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1522711/1522711.pdf>
- Harter, H. (2021, 30. September). *Lebenszyklusanalyse der Technischen Gebäudeausrüstung großer Wohngebäudebestände auf der Basis semantischer 3D-Stadtmodelle*. Dissertation. Technische Universität München, München. Zugriff am 30.12.2021. Verfügbar unter: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1610979/document.pdf>
- Harter, H., Meier-Dotzler, C., Vollmer, M. & Lang, W. (2020, Februar). *AS-Bau Hof GmbH. Eco+Office - Plusenergie und CO₂-Neutralität*. Forschungsbericht (Bayerischer Bauindustrieverband e.V., Hrsg.). Zugriff am 30.07.2021. Verfügbar unter: https://www.ppe.tum.de/fileadmin/w00bqx/www/content_uploads/2020129_Endbericht_AS_Bau.pdf
- Harter, H., Singh, M., Schneider-Marin, P., Lang, W. & Geyer, P. (2020). Uncertainty Analysis of Life Cycle Energy Assessment in Early Stages of Design. *Energy and Buildings*, 208, 109635. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109635>
- Harter, H., Weiler, V. & Eicker, U. (2017). Developing a roadmap for the modernisation of city quarters - Comparing the primary energy demand and greenhouse gas emissions. *Building and Environment*, 112, 166-176. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.031>
- Harter, H., Willenborg, B., Lang, W. & Kolbe, T. (2020). Life Cycle Assessment of technical building services of large residential stocks using semantic 3D city models. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, VI-4/W1-2020, 85-92. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-VI-4-W1-2020-85-2020>
- Heijungs, R. (2020). On the number of Monte Carlo runs in comparative probabilistic LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25(2), 394-402. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01698-4>
- Heinrich, M. (2019, 11. März). *Erfassung und Steuerung von Stoffströmen im urbanen Wohnungsbau - Am Beispiel der Wohnungswirtschaft in München-Freiham*. Dissertation. Technische

- Universität München, München. Zugriff am 12.09.2019. Verfügbar unter: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1453693/1453693.pdf>
- Herman, J. & Usher, W. (2021). *SALib. Sensitivity Analysis Library in Python*. Zugriff am 28.06.2022. Verfügbar unter: <https://salib.readthedocs.io/en/latest/>
- Hochschule für Technik Stuttgart (Hrsg.). (2022). *SimStadt 2.0. 3D-Simulation urbaner Energiesysteme*. Zugriff am 19.05.2022. Verfügbar unter: <https://www.hft-stuttgart.de/forschung/projekte/abgeschlossen/simstadt-20>
- Höglmeier, K., Weber-Blaschke, G. & Richter, K. (2013). Potentials for cascading of recovered wood from building deconstruction - A case study for south-east Germany. *Resources, Conservation and Recycling*, 78, 81-91. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.07.004>
- Hollberg, A., Kiss, B., Röck, M., Soust-Verdaguer, B., Wiberg, A., Lasvaux, S. et al. (2021). Review of visualising LCA results in the design process of buildings. *Building and Environment*, 190, 107530. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107530>
- Hörner, M., Rodenfels, M., Cischinsky, H., Behnisch, M., Busch, R. & Spars, G. (2021, April). *Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude. Der Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland ist vermessen (3. und finale Hochrechnung)*. Projektinformation. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU). Zugriff am 24.06.2021. Verfügbar unter: https://www.datanwg.de/fileadmin/user/iwu/210412_IWU_Projektinfo-8.3_BE_Strukturdaten_final.pdf
- Horton, R. (2009). The climate dividend. *The Lancet*, 374(9705), 1869-1870. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)61994-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)61994-2)
- InformationsZentrum Beton GmbH (Hrsg.). (2019). *Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (Zement Merkblatt Hochbau H 10 5.2019)*. Düsseldorf. Zugriff am 28.10.2021. Verfügbar unter: <https://www.beton.org/fileadmin/beton-org/media/Dokumente/PDF/Service/Zementmerkl%C3%A4tter/H10.pdf>
- Institut für Immobilienökonomie (Hrsg.). (o. J.). *CRREM. Make decarbonisation measurable & Manage Carbon Risk*. Zugriff am 13.08.2022. Verfügbar unter: <https://www.crrem.eu/>
- IÖR (Hrsg.). (o. J.). *Bauwerksdaten. Wohngebäude*. Zugriff am 03.09.2021. Verfügbar unter: <http://ioer-bdat.de/bauwerksdaten/wohngebäude/>
- Kaden, R. (2014). *Berechnung der Energiebedarfe von Wohngebäuden und Modellierung energiebezogener Kennwerte auf der Basis semantischer 3D-Stadtmodelle*. Dissertation. Technische Universität München, München. Zugriff am 24.01.2022. Verfügbar unter: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1210304/1210304.pdf>
- Kalisch, C. (2021, März). *Untersuchung von Stadtgrün. Eine ökologische Lebenszyklusanalyse von Dach- und Außenraumbegrünungen*. Bachelorarbeit (unveröffentlicht). TU München, München.
- Kaltschmitt, M. & Schebek, L. (Hrsg.). (2015). *Umweltbewertung für Ingenieure. Methoden und Verfahren*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.
- Karlsruher Institut für Technologie (Hrsg.). (2022). *FZKViewer*. Zugriff am 25.05.2022. Verfügbar unter: <https://www.iai.kit.edu/1648.php>
- KfW (Hrsg.). (2020, Januar). *Anlage zu den Merkblättern - Energieeffizient Sanieren - Kredit und Investitionszuschuss. Technische Mindestanforderungen*. Zugriff am 12.08.2021. Verfügbar unter: [https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%c3%b6rderprogramme-\(Inlandsf%c3%b6rderung\)/PDF-Dokumente/6000003612_M_151_152_430_Anlage_TMA_2018_04.PDF](https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%c3%b6rderprogramme-(Inlandsf%c3%b6rderung)/PDF-Dokumente/6000003612_M_151_152_430_Anlage_TMA_2018_04.PDF)
- KfW (Hrsg.). (2021). *Die Effizienzhaus-Stufen für bestehende Immobilien und Baudenkmale. Effizienzhaus-Stufen und Förderung im Überblick*. Zugriff am 12.10.2021. Verfügbar unter: <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestehende-Immobilie/Energieeffizient-sanieren/Das-Effizienzhaus/>

-
- KfW (Hrsg.). (2022). *Die Effizienzhaus-Stufe für einen Neubau. Die Effizienzhaus-Stufe 40 mit Nachhaltigkeits-Klasse*. Zugriff am 04.08.2022. Verfügbar unter: <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Neubau/Das-Effizienzhaus/>
- König, H. (2017, Dezember). *Projekt: Lebenszyklusanalyse von Wohngebäuden. Lebenszyklusanalyse mit Berechnung der Ökobilanz und Lebenszykluskosten*. Endbericht. Gröbenzell. Zugriff am 30.07.2021. Verfügbar unter: https://www.lbb-bayern.de/fileadmin/quicklinks/Quick-Link-Nr-98300000-LfU-Gesamtstudie_Lebenszyklusanalyse.pdf
- Kroese, D. (2014). *Statistical Modeling and Computation* (Springer eBook Collection Mathematics and Statistics). New York, NY: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8775-3>
- Kroese, D., Brereton, Tim, Taimre, T. & Botev, Z. (2014). Why the Monte Carlo method is so important today. *WIREs Comput Stat.*, (6), 386-392. <https://doi.org/10.1002/wics.1314>
- KS-Original GmbH (Hrsg.). (2021). *Produkte*. Zugriff am 01.10.2021. Verfügbar unter: <https://www.ks-original.de/produkte>
- Kuhn, T. (2017). *Digitale Zwillung*. Zugriff am 06.04.2022. Verfügbar unter: <https://gi.de/informatiklexikon/digitaler-zwillung>
- Kutzner, T., Chaturvedi, K. & Kolbe, T. (2020). CityGML 3.0: New Functions Open Up New Applications. *PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, 88(1), 43-61. <https://doi.org/10.1007/s41064-020-00095-z>
- Landeshauptstadt München. (o. J.). *Referat für Stadtplanung und Bauordnung*. Zugriff am 21.03.2022. Verfügbar unter: <https://stadt.muenchen.de/rathaus/verwaltung/referat-stadtplanung-bauordnung.html>
- Landeshauptstadt München (1940). Bauplanakte, Abg. 78/1, Bd. 18.
- Lausselet, C., Borgnes, V. & Brattebø, H. (2019). LCA modelling for Zero Emission Neighbourhoods in early stage planning. *Building and Environment*, 149, 379-389. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.034>
- Lausselet, C., Urrego, J., Resch, E. & Brattebø, H. (2021). Temporal analysis of the material flows and embodied greenhouse gas emissions of a neighborhood building stock. *Journal of Industrial Ecology*, 25(2), 419-434. <https://doi.org/10.1111/jiec.13049>
- Lavagna, M., Baldassarri, C., Campioli, A., Giorgi, S., Dalla Valle, A., Castellani, V. et al. (2018). Benchmarks for environmental impact of housing in Europe: Definition of archetypes and LCA of the residential building stock. *Building and Environment*, 145, 260-275. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.008>
- Ledoux, H. & Dukai, B. (2021). *CityJSON Specifications 1.1.0. Living Standard*, 1 December 2021, TU Delft. Zugriff am 14.01.2022. Verfügbar unter: <https://www.cityjson.org/specs/1.1.0/>
- LfDBV Bayern. (o. J.a). *Alkis. Bundesweit einheitlicher Standard für die Daten des Liegenschaftskatasters*. Zugriff am 21.03.2022.
- LfDBV Bayern. (o. J.b). *Bayerische Vermessungsverwaltung - Produkte - 3D-Produkte - 3D-Gebäudemodell*. Zugriff am 22.04.2020. Verfügbar unter: <https://www.ldbv.bayern.de/produkte/3dprodukte/3d.html>
- Bayerische Vermessungsverwaltung (LfDBV Bayern, Hrsg.). (o. J.c). *OpenData. Kostenfreie Geodaten der Bayerischen Vermessungsverwaltung*, Bayerische Vermessungsverwaltung. Zugriff am 12.01.2023. Verfügbar unter: <https://geodaten.bayern.de/opengeodata/OpenDataDetail.html?pn=lod2>
- Lloyd, S. & Ries, R. (2007). Characterizing, Propagating, and Analyzing Uncertainty in Life-Cycle Assessment: A Survey of Quantitative Approaches. *Journal of Industrial Ecology*, 11(1), 161-179. <https://doi.org/10.1162/jiec.2007.1136>

- Lo, S.-C., Ma, H. & Lo, S.-L. (2005). Quantifying and reducing uncertainty in life cycle assessment using the Bayesian Monte Carlo method. *Science of the Total Environment*, 340(1-3), 23-33. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.08.020>
- Loga, T., Stein, B., Diefenbach, N. & Born, R. (2015). *Deutsche Wohngebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden* (2. erweiterte Auflage). Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt. Zugriff am 10.09.2019. Verfügbar unter: http://www.building-typology.eu/downloads/public/docs/brochure/DE_TABULA_TypologyBrochure_IWU.pdf
- Lotteau, M., Loubet, P., Pousse, M., Dufrasnes, E. & Sonnemann, G. (2015). Critical review of life cycle assessment (LCA) for the built environment at the neighborhood scale. *Building and Environment*, 93, 165-178. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.06.029>
- Maderspacher, J. (2017). *Robuste Optimierung in der Gebäudesimulation. Entwicklung einer Methode zur robusten Optimierung für die energetische Sanierung von Gebäuden unter unsicheren Randbedingungen*. Dissertation. TU München, München. Zugriff am 17.05.2022. Verfügbar unter: <https://mediatum.ub.tum.de/1356587>
- Mahler, B., Idler, S. & Gantner, J. (2019). *Mögliche Optionen für eine Berücksichtigung von grauer Energie im Ordnungsrecht oder im Bereich der Förderung. Kurztitel: Graue Energie im Ordnungsrecht/Förderung*. Endbericht (Aktenzeichen 10.08.17.7-17.07b). Zugriff am 29.06.2021. Verfügbar unter: https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/zb/Auftragsforschung/5EnergieKlimaBauen/2017/graue-energie/Endbericht.html?__blob=publicationFile&v=3
- Mahler, B., Idler, S., Nusser, T. & Gantner, J. (2019, Februar). *Energieaufwand für Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus*. Abschlussbericht (Umweltbundesamt, Hrsg.). Stuttgart. Zugriff am 29.06.2021. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-10-29_texte_132-2019_energieaufwand-gebaeudekonzepte.pdf
- Mailhac, A., Cor, E., Vesson, M., Rolland, E., Schetelat, P., Schiopu, N. et al. (2018). A Proposition to Extend CityGML and ADE Energy Standards for Exchanging Information for LCA Simulation at Urban Scale. In E. Benetto (Hrsg.), *Designing Sustainable Technologies, Products and Policies* (1st ed., S. 281-291) [Place of publication not identified]: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66981-6_31
- Marceau, M. & VanGeem, M. (2006). Comparison of the Life Cycle Assessments of an Insulating Concrete Form House and a Wood Frame House. *Journal of ASTM International*, 3(9), 13637. <https://doi.org/10.1520/JAI13637>
- Mastrucci, A., Marvuglia, A., Benetto, E. & Leopold, U. (2020). A spatio-temporal life cycle assessment framework for building renovation scenarios at the urban scale. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 126, 109834. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109834>
- Mastrucci, A., Marvuglia, A., Leopold, U. & Benetto, E. (2017). Life Cycle Assessment of building stocks from urban to transnational scales: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 316-332. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.060>
- Mastrucci, A., Marvuglia, A., Popovici, E., Leopold, U. & Benetto, E. (2017). Geospatial characterization of building material stocks for the life cycle assessment of end-of-life scenarios at the urban scale. *Resources, Conservation and Recycling*, 123, 54-66. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.07.003>
- Mastrucci, A., Popovici, E., Marvuglia, A., Sousa, L. de, Benetto, E. & Leopold, U. (2015). GIS-based Life Cycle Assessment of urban building stocks retrofitting - a bottom-up framework applied to Luxembourg. *EnvironInfo and ICT for Sustainability 2015*, 47-56. <https://doi.org/10.2991/ict4s-env-15.2015.6>

-
- Matthey, A. & Bünger, B. (2019). *Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten. Kostensätze (Stand 2/2019)* (Umweltbundesamt, Hrsg.). Dessau-Roßlau.
- Matthey, A. & Bünger, B. (2020, Dezember). *Methodenkonvention 3.1 zur Ermittlung von Umweltkosten. Kostensätze (Stand 12/2020)* (Umweltbundesamt, Hrsg.). Dessau-Roßlau. Zugriff am 30.04.2022. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/methodenkonvention-umweltkosten>
- Menberg, K., Heo, Y. & Choudhary, R. (2016). Sensitivity analysis methods for building energy models: Comparing computational costs and extractable information. *Energy and Buildings*, 133, 433-445. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.10.005>
- Meó Consulting Team. (2014). *Marktanalyse nachwachsende Rohstoffe* (FNR, Hrsg.). Zugriff am 26.08.2021. Verfügbar unter: <https://fnr.de/marktanalyse/marktanalyse.pdf>
- Metabuild GmbH (Hrsg.). (2022). *Metabuild. Optimierte Gebäudeplanung für Bauherren und Projektentwickler*. Zugriff am 21.05.2022. Verfügbar unter: <https://www.metabuild.io/neubau/optimierte-planung/>
- Microsoft (Hrsg.). (2021). *Erstellen oder Bearbeiten von CSV-Dateien zum Importieren in Outlook*. Zugriff am 05.11.2021. Verfügbar unter: <https://support.microsoft.com/de-de/office/erstellen-oder-bearbeiten-von-csv-dateien-zum-importieren-in-outlook-4518d70d-8fe9-46ad-94fa-1494247193c7>
- MIT Sustainable Design Lab. (2017). *Welcome to umi Online Documentation - umidocs 2.3a4 documentation*. Zugriff am 13.04.2021. Verfügbar unter: <https://umidocs.readthedocs.io/en/develop/index.html>
- Monteiro, H. & Freire, F. (2012). Life-cycle assessment of a house with alternative exterior walls: Comparison of three impact assessment methods. *Energy and Buildings*, 47, 572-583. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.12.032>
- Moser, A., Rötzer, T., Pauleit, S. [S.] & Pretzsch, H. (2015). Structure and ecosystem services of small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill.) and black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in urban environments. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(4), 1110-1121. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.10.005>
- München Betriebs GmbH & Co. KG (Hrsg.). (2022). *München in Zahlen. Daten und Statistiken der Stadt München*. Zugriff am 22.07.2022. Verfügbar unter: <https://www.muenchen.de/sehenswuerdigkeiten/muenchen-in-zahlen.html>
- Naturefund e.V. (2022, 5. Mai). *CO2-Rechner*. Zugriff am 05.05.2022. Verfügbar unter: https://www.naturefund.de/wissen/co2_rechner#calc-home
- Nutkiewicz, A., Yang, Z. & Jain, R. (2018). Data-driven Urban Energy Simulation (DUE-S): A framework for integrating engineering simulation and machine learning methods in a multi-scale urban energy modeling workflow. *Applied Energy*, 225, 1176-1189. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.05.023>
- OGC (Hrsg.). (2022). *CityGML*. Zugriff am 14.01.2022. Verfügbar unter: <https://www.ogc.org/standards/citygml>
- One Click LCA Ltd. (Hrsg.). (2022). *How to make your BIM model work for Life-Cycle Assessment*. Zugriff am 08.08.2022. Verfügbar unter: <https://www.oneclicklca.com/bim-based-life-cycle-assessment-guidelines/>
- Optigrün international AG. (2021). *Dachbegrünung Spardach. der beliebte Optigrün-Standardaufbau für extensive Dachbegrünungen*. Zugriff am 11.10.2021. Verfügbar unter: <https://www.optigruen.de/systemloesungen/spardach/spardach/>

- Österbring, M., Mata, É., Thuvander, L. & Wallbaum, H. (2019). Explorative life-cycle assessment of renovating existing urban housing-stocks. *Building and Environment*, 165, 106391. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106391>
- Passivhaus Institut (Hrsg.). (2015). *Qualitätsanforderungen an Passivhäuser*. Zugriff am 12.08.2021. Verfügbar unter: https://passiv.de/de/02_informationen/02_qualitaetsanforderungen/02_qualitaetsanforderungen.htm
- Petrovic, B., Myhren, J., Zhang, X., Wallhagen, M. & Eriksson, O. (2019). Life cycle assessment of a wooden single-family house in Sweden. *Applied Energy*, 251, 113253. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.05.056>
- Peuportier, B. [B.L.P.]. (2001). Life cycle assessment applied to the comparative evaluation of single family houses in the French context. *Energy and Buildings*, 33(5), 443-450. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(00\)00101-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(00)00101-8)
- Quigley, M. (2004). Street trees and rural conspecifics: Will long-lived trees reach full size in urban conditions? *Urban Ecosystems*, 7(1), 29-39. <https://doi.org/10.1023/B:UECO.0000020170.58404.e9>
- Regel, R. (2016, 31. Mai). *Die Referenzraummethode als eine vereinfachte Bewertung komplexer Liegenschaften im Quartier am Beispiel von Hochschulen*. Dissertation. Technische Universität München, München. Zugriff am 07.04.2021. Verfügbar unter: <http://mediatum.ub.tum.de/?id=1293442>
- Röck, M., Baldereschi, E., Verellen, E., Passer, A., Sala, S. & Allacker, K. (2021). Environmental modelling of building stocks – An integrated review of life cycle-based assessment models to support EU policy making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151, 111550. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111550>
- Röck, M., Hollberg, A., Habert, G. & Passer, A. (2018). LCA and BIM: Integrated Assessment and Visualization of Building Elements' Embodied Impacts for Design Guidance in Early Stages. *Procedia CIRP*, 69, 218-223. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.087>
- Röck, M., Saade, M., Balouktsi, M., Rasmussen, F., Birgisdottir, H., Frischknecht, R. et al. (2020). Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation. *Applied Energy*, 258, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114107>
- Rötzer, T., Reischl, A., Rahman, M., Pretzsch, H. & Pauleit, S. [S.]. (2021). *Leitfaden zu Stadtbäumen in Bayern. Handlungsempfehlungen aus dem Projekt Stadtbäume - Wachstum, Umweltleistungen und Klimawandel*. Freising: Zentrum Stadtnatur und Klimaanpassung. Zugriff am 07.07.2022. Verfügbar unter: <https://www.zsk.tum.de/zsk/die-teilprojekte-des-zsk/abgeschlossene-projekte/city-trees-ii-stadtbaeume-im-klimawandel/>
- RWTH Aachen, Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate. (o. J.). *Teaser*. Zugriff am 16.12.2020. Verfügbar unter: <https://www.ebc.eonerc.rwth-aachen.de/cms/E-ON-ERC-EBC/Forschung/OPEN-SOURCE/~modj/Teaser25/>
- Saltelli, A., Annoni, P., Azzini, I., Campolongo, F., Ratto, M. & Tarantola, S. (2010). Variance based sensitivity analysis of model output. Design and estimator for the total sensitivity index. *Computer Physics Communications*, 181(2), 259-270. <https://doi.org/10.1016/j.cpc.2009.09.018>
- Saltelli, A., Ratto, M., Andres, T., Campolongo, F., Cariboni, J., Gatelli, D. et al. (2008). *Global Sensitivity Analysis. The Primer*. Chichester, England, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470725184>
- Saltelli, A. & Tarantola, S. (2002). On the Relative Importance of Input Factors in Mathematical Models. *Journal of the American Statistical Association*, 97(459), 702-709. <https://doi.org/10.1198/016214502388618447>

-
- Schlegl, F., Gantner, J., Traunspurger, R., Albrecht, S. & Leistner, P. (2019). LCA of buildings in Germany: Proposal for a future benchmark based on existing databases. *Energy and Buildings*, 194, 342-350. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.04.038>
- Schneider, P. & Lang, W. (2017, Januar). *Gemeinschaftlich nachhaltig Bauen. Forschungsbericht der ökologischen Untersuchung des genossenschaftlichen Wohnungsbauprojektes wagnisART* (Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr, Hrsg.). München. Zugriff am 30.07.2021. Verfügbar unter: [https://www.bestellen.bayern.de/application/e-shop_app000006?SID=1196200778&ACTIONxSESSx-SHOWPIC\(BILDxKEY:%2703500205%27,BILDxCLASS:%27Artikel%27,BILDxTYPE:%27PDF%27\)](https://www.bestellen.bayern.de/application/e-shop_app000006?SID=1196200778&ACTIONxSESSx-SHOWPIC(BILDxKEY:%2703500205%27,BILDxCLASS:%27Artikel%27,BILDxTYPE:%27PDF%27))
- Schneider-Marin, P., Dotzler, C., Röger, C., Lang, W., Glöggler, J. & Meier, K. (2019). *Design2Eco. Lebenszyklusbetrachtung im Planungsprozess von Büro- und Verwaltungsgebäuden : Entscheidungsgrundlagen und Optimierungsmöglichkeiten für frühe Planungsphasen* (Forschungsinitiative ZukunftBau). Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag. Zugriff am 30.07.2021. Verfügbar unter: <https://www.irbnet.de/daten/rswb/19039016001.pdf>
- Schneider-Marin, P., Harter, H., Tkachuk, K. & Lang, W. (2020). Uncertainty Analysis of Embedded Energy and Greenhouse Gas Emissions Using BIM in Early Design Stages. *Sustainability*, 12(7), 2633. <https://doi.org/10.3390/su12072633>
- Schneider-Marin, P. & Lang, W. (2020). Environmental costs of buildings. monetary valuation of ecological indicators for the building industry. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25(9), 1637-1659. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01784-y>
- Seifert, N. (o. J.). Digital Computational Tools for Urban Planning: A Case Study. Supporting political decision-making processes, city planning and public participation with new implements. In TU München - Fakultät für Architektur (Hrsg.), *Review 2018-2019* (S. 72-73). München. Zugriff am 16.12.2020. Verfügbar unter: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1485283/1485283.pdf#page=72>
- Seifert, N. & Mühlhaus, M. (o. J.). *USP Urban Strategy Playground*, TU München, Lehrstuhl für Architekturinformatik. Zugriff am 16.12.2020. Verfügbar unter: <http://wp.usp.ai.ar.tum.de/>
- Slavkovic, K., Nault, E., Jusselme, T. & Andersen, M. (2019). Life-Cycle Assessment as a decision-support tool for early phases of urban planning: evaluating applicability through a comparative approach. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 323(1), 12030. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012030>
- Soust-Verdaguer, B., Llatas, C. & García-Martínez, A. (2016). Simplification in life cycle assessment of single-family houses: A review of recent developments. *Building and Environment*, 103, 215-227. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.04.014>
- Sözer, H. & Sözen, H. (2019). Energy saving, global warming and waste recovery potential of retrofitting process for a district. *Journal of Cleaner Production*, 238, 117915. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117915>
- Spacemaker (Hrsg.). (2020). *Spacemaker. Analysis Hub*. Zugriff am 21.05.2022. Verfügbar unter: <https://www.spacemakerai.com/resources/analysis-hub>
- SPD, Bündnis 90/Die Grünen & FDP (Hrsg.). (2021). *Mehr Fortschritt wagen - Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. Koalitionsvertrag 2021 - 2025 zwischen der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD), BÜNDNIS 90 / DIE GRÜNEN und den Freien Demokraten (FDP)*. Zugriff am 11.01.2022. Verfügbar unter: https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Koalitionsvertrag/Koalitionsvertrag_2021-2025.pdf
- Sphera Solutions GmbH. (o. J.). *GaBi LCA Datenbanken*. Zugriff am 25.05.2021. Verfügbar unter: <https://gabi.sphera.com/deutsch/datenbanken/gabi-datenbanken/>

- Sprenghard, C., Tremel, S. & Holm, A. (2013, November). *Technologien und Techniken zur Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden durch Wärmedämmstoffe. Metastudie Wärmedämmstoffe - Produkte, Anwendungen, Innovationen*. Forschungsbericht (Aktenzeichen: II 3-F20-12-1-074 / SWD-10.08.18.7-12.39) (FO-12/12). Gräfelfing: FIW München. Zugriff am 07.04.2020. Verfügbar unter: https://www.fiw-muenchen.de/media/pdf/metastudie_waermedaemmstoffe.pdf
- Statista (Hrsg.). (2013). *Struktur der Wärmedämmverbundsysteme in Deutschland nach Dämmstoffart 2013*. Zugriff am 26.08.2021. Verfügbar unter: <https://de-statista-com.eaccess.ub.tum.de/statistik/daten/studie/310349/umfrage/anteil-der-verbauten-daemmstoffarten-in-deutschland/>
- Statista. (2020). *Verteilung der Wohnungen in Deutschland im Jahr 2018 nach dem Baujahr*. Zugriff am 29.06.2021. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1065559/umfrage/wohnungen-in-deutschland-nach-baujahr/>
- Statista. (2021). *Bevölkerungsentwicklung. Landkreise und kreisfreie Städte mit dem größten prognostizierten Wachstum in Deutschland bis 2040 (in Prozent)*. Graph. Zugriff am 03.01.2022. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1220715/umfrage/prognose-bevoelkerungswachstum-kreise/>
- Statista. (2022, April). *Kaufpreis für Eigentumswohnungen (alle Baujahre) bis 2022. in Euro pro Quadratmeter*. Zugriff am 06.07.2022. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/554954/umfrage/kaufpreise-fuer-eigentumswohnungen-aller-baujahre-in-deutschland/>
- Statista. (2022, Julib). *Anzahl der Wohngebäude in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2021*. Zugriff am 21.11.2022. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/70094/umfrage/wohngebaeude-bestand-in-deutschland-seit-1994/>
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (Hrsg.). (2011, 9. Maia). *Zensusdatenbank. Ergebnis 3000G-1002 - Gebäude mit Wohnraum nach Baujahr (Mikrozensus-Klassen)*. Zugriff am 24.06.2021. Verfügbar unter: <https://ergebnisse2011.zensus2022.de/datenbank/online?operation=abrufabelleBearbeiten&levelindex=0&levelid=1624533978222&auswahloperation=abrufabelleAuspraegungAuswaehlen&auswahlverzeichnis=ordnungsstruktur&auswahlziel=werteabruf&code=3000G-1002&auswahltext=&nummer=4&variable=4&name=GEODL1&nummer=5&variable=5&name=GEBBJ3&werteabruf=Werteabruf#abreadcrumb>
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (Hrsg.). (2011, 9. Maib). *Zensusdatenbank. Ergebnis 4000W-1002 - Wohnungen in Gebäuden mit Wohnraum nach Baujahr (Mikrozensus-Klassen)*. Zugriff am 24.06.2021. Verfügbar unter: <https://ergebnisse2011.zensus2022.de/datenbank/online?operation=abrufabelleBearbeiten&levelindex=1&levelid=1624534499113&auswahloperation=abrufabelleAuspraegungAuswaehlen&auswahlverzeichnis=ordnungsstruktur&auswahlziel=werteabruf&code=4000W-1002&auswahltext=&nummer=4&variable=4&name=GEODL1&nummer=5&variable=5&name=GEBBJ3&werteabruf=Werteabruf#abreadcrumb>
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (Hrsg.). (2018). *Wohngebäude nach Baujahr. Ergebnisse der Gebäude- und Wohnungszählung 2011*. Zugriff am 29.05.2022. Verfügbar unter: <https://www.statistikportal.de/de/wohngebaeude-nach-baujahr>
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.). (2003, Dezember). *Bautätigkeiten und Wohnungen. Bautätigkeit 2002 (Fachserie 5 1)*. Wiesbaden. Zugriff am 14.05.2020. Verfügbar unter: https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00005230
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.). (2004, November). *Bautätigkeiten und Wohnungen. Bautätigkeit 2003 (Fachserie 5 1)*. Wiesbaden. Zugriff am 14.05.2020. Verfügbar unter: https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00005233

-
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.). (2005, 26. September). *Bautätigkeiten und Wohnungen. Bautätigkeit 2004* (Fachserie 5 1). Wiesbaden. Zugriff am 14.05.2020. Verfügbar unter: https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00005236
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.). (2006, 31. Oktober). *Bautätigkeiten und Wohnungen. Bautätigkeit 2005* (Fachserie 5 1). Wiesbaden. Zugriff am 14.05.2020. Verfügbar unter: https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00005238
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.). (2007, 3. August). *Bautätigkeiten und Wohnungen. Bautätigkeit 2006* (Fachserie 5 1). Wiesbaden. Zugriff am 14.05.2020. Verfügbar unter: https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00005240
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.). (2009, 31. Juli). *Bautätigkeiten und Wohnungen. Bautätigkeit 2008* (Fachserie 5 1). Wiesbaden. Zugriff am 14.05.2020. Verfügbar unter: https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00005245
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.). (2010, 4. Maia). *Bautätigkeiten und Wohnungen. Bautätigkeit 2007*. Korrektur der Ausgabe vom 11.08.2008 (Fachserie 5 1). Wiesbaden. Zugriff am 14.05.2020. Verfügbar unter: https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00005242
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.). (2010, 12. Augustb). *Bautätigkeiten und Wohnungen. Bautätigkeit 2009* (Fachserie 5 1). Wiesbaden. Zugriff am 14.05.2020. Verfügbar unter: https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00005248
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.). (2011, 13. September). *Bautätigkeiten und Wohnungen. Bautätigkeit 2010*. Korrektur der Ausgabe vom 21.07.2011 (Fachserie 5 1). Wiesbaden. Zugriff am 14.05.2020. Verfügbar unter: https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00005251
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.). (2014, 24. Märza). *Bautätigkeiten und Wohnungen. Bautätigkeit 2011*. Korrektur der Ausgabe vom 27.07.2012 (Fachserie 5 1). Wiesbaden. Zugriff am 14.05.2020. Verfügbar unter: https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00018279
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.). (2014, 24. März b). *Bautätigkeiten und Wohnungen. Bautätigkeit 2012*. Korrektur der Ausgabe vom 30.08.2013 (Fachserie 5 1). Wiesbaden. Zugriff am 14.05.2020. Verfügbar unter: https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00023909
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.). (2014, 29. Augustc). *Bautätigkeiten und Wohnungen. Bautätigkeit 2013* (Fachserie 5 1). Wiesbaden. Zugriff am 14.05.2020. Verfügbar unter: https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00024832
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.). (2015, 26. August). *Bautätigkeiten und Wohnungen. Bautätigkeit 2014* (Fachserie 5 1). Wiesbaden. Zugriff am 14.05.2020. Verfügbar unter: https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00031005
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.). (2016, 28. September). *Bautätigkeiten und Wohnungen. Bautätigkeit 2015*. Korrektur der Ausgabe vom 12.08.2016 (Fachserie 5 1). Wiesbaden. Zugriff am 14.05.2020. Verfügbar unter: https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00054143
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.). (2017, 19. Juli). *Bautätigkeiten und Wohnungen. Bautätigkeit 2016* (Fachserie 5 1). Wiesbaden. Zugriff am 14.05.2020. Verfügbar unter: https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00071395

- Statistisches Bundesamt (Hrsg.). (2018, 11. Juni). *Bautätigkeiten und Wohnungen. Bautätigkeit 2017* (Fachserie 5 1). Wiesbaden. Zugriff am 14.05.2020. Verfügbar unter: https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00076761
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.). (2019, 3. Dezember). *Bautätigkeiten und Wohnungen. Bautätigkeit 2018*. Korrektur der Ausgabe vom 16.07.2019 (Fachserie 5 1). Wiesbaden. Zugriff am 08.05.2020. Verfügbar unter: https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00104643
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.). (2020, 10. Julia). *Bautätigkeiten und Wohnungen. Bautätigkeit 2019* (Fachserie 5 1). Wiesbaden. Zugriff am 24.06.2021. Verfügbar unter: https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00132461
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.). (2020, 29. Julib). *Gebäude und Wohnungen. Bestand an Wohnungen und Wohngebäuden, Bauabgang von Wohnungen und Wohngebäuden, Lange Reihen ab 1969-2019*. Wiesbaden. Zugriff am 24.06.2021. Verfügbar unter: https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00104643
- Stephan, A. & Athanassiadis, A. (2017). Quantifying and mapping embodied environmental requirements of urban building stocks. *Building and Environment*, 114, 187-202. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.043>
- Stiftung Wilderness International. (2022, 5. Mai). *Wilderness International CO₂-Rechner - Sag Danke an die Natur. CO₂-Fußabdruck berechnen & mit Urwaldschutz kompensieren*. Zugriff am 05.05.2022. Verfügbar unter: https://www.thankyounature.org/?gclid=EAlalQobChMI48y_2ZjB9wIVA5zVCh2TRQe_EAAYAiAAEgIDSPD_BwE
- Swiss Society of Engineers and Architects (Hrsg.). (2017). *SIA 2040. SIA-Effizienzpfad Energie*. Tagesschau (2022, 21. November). COP27: Das hat die Klimakonferenz (nicht) beschlossen. *tagesschau.de*. Zugriff am 30.11.2022. Verfügbar unter: <https://www.tagesschau.de/wissen/klima/beschluesse-cop27-klimakonferenz-101.html>
- Takano, A., Pal, S., Kuittinen, M., Alanne, K., Hughes, M. & Winter, S. (2015). The effect of material selection on life cycle energy balance: A case study on a hypothetical building model in Finland. *Building and Environment*, 89, 192-202. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.03.001>
- Thiel, D. & Riedel, D. (2011). *Typisierte Bauteilaufbauten. Präzisierung der Pauschalwerte für Wärmedurchgangskoeffizienten aus der Bekanntmachung der Regeln der Datenaufnahme im Nichtwohngebäudebestand* (Forschungsinitiative Zukunft Bau, Bd. 2793). Endbericht. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag. Zugriff am 27.09.2021. Verfügbar unter: <https://www.irbnet.de/daten/rswb/11109001108.pdf>
- Tian, W., Heo, Y., Wilde, P. de, Li, Z., Yan, D., Park, C. et al. (2018). A review of uncertainty analysis in building energy assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93, 285-301. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.029>
- Timpe, C., Kenkmann, T., Hesse, T., Mundt, J., Maaß, C., Kapfer, J. et al. (2021, 4. November). *Maßnahmenplan Klimaneutralität München* (Öko-Institut e.V., Hrsg.). Freiburg, Hamburg, München. Zugriff am 03.01.2022. Verfügbar unter: <https://stadt.muenchen.de/dam/jcr:dc76020e-b14b-42ca-9eea-4c3ce538b951/Massnahmenplan-Klimaneutralitaet-Muenchen.pdf>
- Tonooka, Y., Takaguchi, H., Yasui, K. & Maeda, T. (2014). Life Cycle Assessment of a Domestic Natural Materials Wood House. *Energy Procedia*, 61, 1634-1637. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.313>
- Tschirk, W. (2014). *Statistik: Klassisch oder Bayes. Zwei Wege im Vergleich* (Springer-Lehrbuch, Aufl. 2014). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

-
- TU München - Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen (Hrsg.). (o. J.). *EarlyBIM 2. Teilprojekt 4: Wissensbank und Machine-Learning-Assistenz für performanceorientiertes Bauen*. Zugriff am 08.08.2022. Verfügbar unter: <https://www.cee.ed.tum.de/enpb/forschung/laufende-forschungsprojekte/earlybim-2/>
- TU München - Lehrstuhl für Geoinformatik. (o. J.a). *3D City Database Importer/Exporter*. Zugriff am 28.04.2022. Verfügbar unter: <https://www.3dcitydb.org/3dcitydb/3dimpexp/>
- TU München - Lehrstuhl für Geoinformatik. (o. J.b). *3DCityDB Database*. Zugriff am 28.04.2022. Verfügbar unter: <https://www.3dcitydb.org/3dcitydb/>
- TU München - Lehrstuhl für Geoinformatik. (o. J.c). *3DCityDB-Web-Map-Client*. Zugriff am 05.05.2022. Verfügbar unter: <https://www.3dcitydb.org/3dcitydb/3dwebclient/>
- TU München - Lehrstuhl für Geoinformatik. (o. J.d). *CityGML 3.0*. Zugriff am 25.04.2022. Verfügbar unter: <https://www.asg.ed.tum.de/gis/projekte/citygml-30/>
- TU München - Lehrstuhl für Strategie und Management der Landschaftsplanung. (o. J.). *Grüne Stadt der Zukunft. Klimaresiliente Quartiere in einer wachsenden Stadt*. Zugriff am 30.12.2021. Verfügbar unter: <https://www3.ls.tum.de/lapl/gruene-stadt-der-zukunft/publikationen/>
- U.S. Green Building Council (Hrsg.). (2022). *LEED rating system*. Zugriff am 30.07.2021. Verfügbar unter: <https://www.usgbc.org/leed>
- Überwachungsgemeinschaft Konstruktionsvollholz e.V. (Hrsg.). (o. J.). *Konstruktionsvollholz KVH® und Balkenschichtholz (Duobalken®, Triobalken®)* (Holzbau Handbuch Reihe 4, Teil 2, Folge 1). Wuppertal. Zugriff am 04.10.2021. Verfügbar unter: https://www.kvh.eu/fileadmin/user_upload/KVH_IDH_KVH-Duo-Triobalken_2020-03_print_200320.pdf
- Überwachungsgemeinschaft Konstruktionsvollholz e.V. (Hrsg.). (2020, März). *Konstruktionsvollholz KVH und Balkenschichtholz (Duobalken, Triobalken)* (5. Auflage) (Holzbau Handbuch Reihe 4, Teil 2, Folge 1). Wuppertal. Verfügbar unter: https://www.kvh.eu/fileadmin/user_upload/KVH_IDH_KVH-Duo-Triobalken_2020-03_print_200320.pdf
- Umweltbundesamt. (2015). *Berlin: Einsatz von Recycling-Beton im Hochbau*. Zugriff am 04.08.2022. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/umweltfreundliche-beschaffung/gute-praxisbeispiele/gebaeudeneubau/berlin-einsatz-von-recycling-beton-im-hochbau>
- Verband Fenster und Fassade (Hrsg.). (o. J.). *Produktentwicklung und Produktdatenblätter. Fenster und Glas im Bestand*. Zugriff am 16.04.2020. Verfügbar unter: https://www.window.de/fileadmin/redaktion_window/vff/Normung_und_Technik_pdfs/Fenster_im_Bestand_Grafik.pdf
- Verband Fenster und Fassade & Bundesverband Flachglas e.V. (Hrsg.). (2017, September). *Mehr Energie sparen mit neuen Fenstern*. Aktualisierung September 2017 der Studie "Im neuen Licht: Energetische Modernisierung von alten Fenstern". Frankfurt/Main. Zugriff am 16.04.2020. Verfügbar unter: https://www.window.de/fileadmin/redaktion_window/vff/docs_und_pdf/VFF-BF_Studie_Mehr_Energie_sparen_mit_neuen_Fenstern_2017-09.pdf
- Vollmer, M., Schneider-Marin, P., Harter, H. & Lang, W. (2019, Dezember). *Ferd. Tausendpfund. Lebenszyklusanalyse und Gebäudemonitoring* (Bayerischer Bauindustrieverband e.V., Hrsg.). München. Zugriff am 30.07.2021. Verfügbar unter: https://www.ppe.tum.de/fileadmin/w00bqx/www/content_uploads/20191206_Endbericht_Tausendpfund.pdf
- Weiler, V., Harter, H. & Eicker, U. (2017). Life cycle assessment of buildings and city quarters comparing demolition and reconstruction with refurbishment. *Energy and Buildings*, 134, 319-328. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.004>
- Wienerberger. (2021). *Produktkatalog Porotonziegel*. Zugriff am 01.10.2021. Verfügbar unter: <https://www.wienerberger.de/produkte/wand/ziegel.html?loadmore=2>

- Wilhelm, L. (2019, 14. März). *Perspektiven mit neuen Baumarten im städtischen Bereich*. Präsentation beim Kellerseminar, München.
- Wion media services GmbH & Co. KG (Hrsg.). (o. J.). *Bauwion. Wissen zum Thema: Rohbau*. Zugriff am 08.10.2021. Verfügbar unter: <https://www.bauwion.de/wissen/rohbau>
- Wirth, S. von & Liedke, J. (2022, 1. Juni). CO2-Steuer 2022: Abgaben für Benzin, Diesel, Heizöl & Erdgas. *Handelsblatt*. Zugriff am 04.08.2022. Verfügbar unter: <https://www.handelsblatt.com/finanzen/steuern-recht/steuern/co2-preis-was-die-co2-steuer-fuer-verbraucher-bedeutet/26228322.html>
- WWF Deutschland (Hrsg.). (2019, Februar). *Klimaschutz in der Beton- und Zementindustrie. Hintergrund und Handlungsoptionen*. Berlin. Zugriff am 29.06.2021. Verfügbar unter: https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF_Klimaschutz_in_der_Beton-_und_Zementindustrie_WEB.pdf
- Xella Deutschland GmbH (Hrsg.). (2018, Dezember). *Das Baubuch. Sicher planen und bauen* (5. Auflage). Zugriff am 01.10.2021. Verfügbar unter: <https://baubuch.ytong-silka.de/content/uploads/2019/01/03-bb-ka-wandbaustoffe-web-1.pdf>
- Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V. (Hrsg.). (2009, Oktober). *Erfassung regionaltypischer Materialien im Gebäudebestand mit Bezug auf die Baualterklasse und Ableitung typischer Bauteilaufbauten. Endbericht*. Aktenzeichen Z6 - 10.07.03-06.13/II2-800106-13 (2., berichtigte Version). Kassel.
- Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V. (Hrsg.). (2009, Oktober). *Katalog regionaltypischer Materialien im Gebäudebestand mit Bezug auf die Baualterklasse und Ableitung typischer Bauteilaufbauten. Katalog* (2., berichtigte Auflage). Kassel.
- Zhang, X.-Y., Trame, M., Lesko, L. & Schmidt, S. (2015). Sobol Sensitivity Analysis: A Tool to Guide the Development and Evaluation of Systems Pharmacology Models. *CPT: Pharmacometrics & Systems Pharmacology*, 4(2), 69-79. <https://doi.org/10.1002/psp4.6>

A Anhang

A.1 U-Werte für Alt-, Neubau- und Sanierungskonstruktionen

Tabelle A. 1: Typische U-Werte opaker und transparenter Bauteile der beheizten Gebäudehülle je Baualtersklasse; eigene Darstellung nach BMWI und BMI (2020), Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (o. J.) und Thiel und Riedel (2011)

Bauteil	Konstruktionsart	U-Wert nach Baualtersklassen										
		BK 1 ¹	BK 2 ¹	BK 3 ¹	BK 4 ¹	BK 5 ¹	BK 6 ¹	BK 7 ¹	BK 8 ¹	BK 9 ²	BK 10 ²	BK 11 ³
Außenwand	EWmon	1,80	1,80	1,80	1,40	1,00	0,80	0,60	0,50	0,40	0,30	0,28
	EW2shelled	1,30	1,30	1,30	1,40	1,00	0,80	0,60	0,50	0,30	0,20	0,20
	EWwood	2,00	2,00	1,50	1,40	0,60	0,50	0,40	0,40	0,30	0,20	0,20
Oberste Geschossdecke	TFLmas	2,10	2,10	2,10	2,10	0,60	0,60	0,30	0,30	0,20	0,20	0,20
	TFLwood	1,00	1,00	0,80	0,70	0,60	0,40	0,30	0,30	0,30	0,20	0,20
Kellerdecke	CFLmas	1,40	1,40	1,90	1,00	1,00	0,80	0,60	0,60	0,50	0,40	0,35
	CFLwood	1,00	1,00	1,00	0,80	0,60	0,60	0,40	0,40	0,40	0,40	0,35
Kelleraußenwand	CW	2,20	2,20	2,20	1,40	1,00	0,80	0,60	0,50	0,50	0,40	0,35
Bodenplatte	BP	1,60	1,60	2,30	1,20	1,20	0,80	0,60	0,60	0,50	0,40	0,35
Flachdach	FROmas/ FROwood	2,10	2,10	2,10	1,30	1,30	0,60	0,40	0,30	0,20	0,20	0,20
	PRO	2,60	1,40	1,40	1,40	0,80	0,70	0,50	0,30	0,20	0,20	0,20
Fenster	Wwood (Einfachverglasung)	5,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Wwood (Zweifachverglasung)	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	1,60	1,50	1,40	1,30
	Wplas	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	1,90	1,50	1,30	1,30
	Walu	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	3,20	1,90	1,53	1,44	1,30

Quellen:

- 1: BMWI und BMI (2020)
- 2: Thiel und Riedel (2011)
- 3: Auf Basis von Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, Tabelle 1 (o. J.), wenn Wert kleiner als in BK 10

Weiterführende Informationen/Annahmen:

Massivwand (Vollziegel) mit 20 bis 30 cm Wandstärke

Wand ohne Dämmschicht

sonstige Holzkonstruktionen

Durchschnittlicher U-Wert aus Kellerdecke Stahlbeton massiv und Ziegel- oder Hohlsteinkonstruktion

Außenwand: sonstige Wandaufbauten über 20 cm

A.1 U-Werte für Alt-, Neubau- und Sanierungskonstruktionen

Tabelle A. 2: U-Werte opaker und transparenter Bauteile der beheizten Gebäudehülle nach Passivhausstandard; eigene Darstellung nach Passivhaus Institut (2015)

Bauteil	Konstruktionsart	U-Wert (Mindestanforderung)
Außenwand	EWmas/ EWwood	0,15
Oberste Geschossdecke	TFLmas/ TFLwood	0,15
Kellerdecke	CFLmas/ CFLwood	0,15
Kelleraußenwand	CW	0,15
Gebäudetrenn- wand im Keller	SCW	0,15
Bodenplatte	BP	0,15
Flachdach	FROmas/ FROwood	0,15
Steildach	PRO	0,15
Fenster	Walu/ Wplas/ Wwood	0,80

Tabelle A. 3: U-Werte opaker und transparenter Bauteile der beheizten Gebäudehülle nach KfW-55-Standard (Sanierung); eigene Darstellung nach KfW (2020)

Bauteil	Konstruktionsart (Sanierungsart)	U-Wert nach Baualtersklassen	
		BK 1 - BK 9	BK 10, 11
Außenwand	EWmas (Außendämmung)	0,20	0,20
	EW2shelled (Zwischen-und Außendämmung)	0,20	*
	EWcwf (Außendämmung)	0,20	0,20
	EWwood (Außendämmung)		*
Oberste Geschossdecke	TFLmas (Dämmung von oben)	0,14	0,14
	TFLwood (Zwischendämmung und/oder Dämmung von oben)	0,14	0,14
Kellerdecke	CFLmas (Dämmung von unten)	0,25	0,25
	CFLwood (Zwischendämmung und/oder Dämmung von unten)	0,25	0,25
Kelleraußenwand	CW (Außendämmung)	0,25	0,25
Gebäudetrennwand im Keller	SCW (Innendämmung)	0,25	0,25
Bodenplatte	BP (Innendämmung)	0,25	0,25
Flachdach	FROmas (Außendämmung)	0,14	0,14
	FROwood (Zwischen- und/oder Außendämmung)	0,14	0,14
Steildach	PRO (Zwischendämmung und/oder Dämmung von oben)	0,14	0,14
Fenster	Walu/ Wplas/ Wwood (Komplett austausch)	0,95	0,95

* Eine Sanierung der zweischaligen Außenwände und der Außenwände in Holzbauweise ist nicht erforderlich, da die U-Werte der Bestandskonstruktionen in BK 10 und 11 bereits die Mindestanforderungen des KfW-55-Standards erfüllen

A.2 Bilanzierte Altbaukonstruktionen

Nachfolgend werden alle bilanzierten Altbaukonstruktionen beschrieben. Die Gliederung erfolgt nach Bauteil und typischer Baualtersklasse. Unter Angabe der schichtspezifischen Materialien, ihrer Rohdichten und Wärmeleitfähigkeiten sowie der verwendeten Literaturquellen sind die lebenszyklusbasierten Umweltwirkungen jeder Baukonstruktion dargestellt.

Tabelle A. 4: Übersicht über die bilanzierten opaken Altbaukonstruktionen inklusive der spezifischen Materialkennwerte und Umweltwirkungen; eigene Darstellung

Bau- teil- name	Zeit- raum	Zugehörige Baualtersklassen										Aufbau				Literaturquelle	GWP (A-C) [kg CO ₂ - Äq.]	PENRT (A-C) [MJ]	PET (A-C) [MJ]	GWP (A-D) [kg CO ₂ - Äq.]	PENRT (A-D) [MJ]	PET (A-D) [MJ]	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Material- bezeichnung	Stärke [cm]	Roh- dichte [kg/m ³]								λ-Wert [W/mK]
PRO _1	bis 1918	x											Reetdach	35,00	100,00	-	Zentrum für Umweltbe- wusstes Bauen e.V. (ZUB), 2009b, S.31	-74,6	114,7	1273,8	-93,0	-132,1	1345,5
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-																	
			Sparren	2,50	492,92	-																	
			Schalung	2,40	484,51	0,14																	
			Schilfrohrmatte	1,00	100,00	0,08																	
Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70																				
PRO _2	bis 1948	x x											Dachziegel	2,75	2180,00	-	ZUB, 2009b, S. 32	27,1	416,6	582,9	4,9	119,3	666,9
			Lattung	0,50	484,51	-																	
			Konterlattung	0,48	484,51	-																	
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-																	
			Sparren	2,50	492,92	-																	
Schalung	2,40	484,51	0,14																				
Schilfrohrmatte	1,00	100,00	0,08																				
Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70																				
PRO _3	1949- 1957	x											Dachziegel	2,75	2180,00	-	ZUB, 2009b, S. 34	42,6	521,5	830,8	14,7	163,4	836,6
			Lattung	0,50	484,51	-																	
			Konterlattung	0,48	484,51	-																	
			Sparren	2,50	492,92	-																	
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-																	
Schalung	2,40	484,51	0,14																				
Holzwolle- Leichtbauplatte	5,00	360,00	0,09																				
Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70																				
PRO _4	1958- 1968	x											Dachziegel	2,75	2180,00	-	ZUB, 2009b, S. 35	45,6	561,1	866,4	18,1	208,7	857,3
			Lattung	0,50	484,51	-																	
			Konterlattung	0,48	484,51	-																	
			Luftschicht, stark belüftet	10,00	-	-																	
			Schrägdach- dämmung (unspezifisch)	4,00	30,00 - 200,00	0,04																	
Sparren	2,20	492,92	0,14																				
Schalung	2,40	484,51	0,14																				
Holzwolle- Leichtbauplatte	5,00	360,00	0,09																				
Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70																				
PRO _5	1969- 1978	x											Dachziegel	2,75	2180	-	ZUB, 2009b, S. 36	33,9	515,1	671,7	11,6	214,0	730,4
			Lattung	0,50	484,51	-																	
			Konterlattung	0,48	484,51	-																	
			Schrägdach- dämmung (unspezifisch)	8,00	30,00 - 200,00	0,04																	
			Luftschicht, stark belüftet	4,00	-	-																	
Sparren	2,20	492,92	0,14																				
Schalung	2,40	484,51	0,14																				
Gipskartonplatte	1,25	800	0,21																				
PRO _6	1969- 1978	x											Dachziegel	2,75	2180,00	-	ZUB, 2009b, S. 36	33,0	489,2	659,7	6,0	125,7	736,7
			Lattung	0,50	484,51	-																	
			Konterlattung	0,48	484,51	-																	
			Schrägdach- dämmung (unspezifisch)	8,00	30,00 - 200,00	0,04																	
			Luftschicht, stark belüftet	4,00	-	-																	
Sparren	2,20	492,92	0,14																				
Schalung	2,40	484,51	0,14																				
Profilbretter	1,25	484,51	0,21																				
Luftschicht, stark belüftet	2,00	-	-																				

PRO _7	1949- 1978	x x x	Dachziegel	2,75	2180,00	-	ZUB, 2009b, S. 77	40,9	498,9	755,5	23,1	275,8	721,7
			Lattung	0,50	484,51	-							
			Konterlattung	0,48	484,51	-							
			Sparren	2,20	492,92	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
Holzwohle- Leichtbauplatte	5,00	360,00	0,09										
Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70										
PRO _8	1949- 1978	x x x	Dachziegel	2,75	2180,00	-	ZUB, 2009b, S. 78	30,8	474,6	583,8	17,8	298,0	612,4
			Lattung	0,50	484,51	-							
			Konterlattung	0,48	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Schrägdach- dämmung (unspezifisch)	6,00	30,00 - 200,00	0,04							
Sparren	2,20	492,92	0,14										
Gipskartonplatte	1,25	800,00	0,21										
PRO _9	1949- 1978	x x x	Dachziegel	2,75	2180,00	-	ZUB, 2009b, S. 78	28,3	427,0	548,9	10,9	192,8	601,1
			Lattung	0,50	484,51	-							
			Konterlattung	0,48	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Schrägdach- dämmung (unspezifisch)	4,00	30,00 - 200,00	0,04							
Sparren	2,20	492,92	0,14										
Profilbretter	1,25	484,51	0,21										
PRO _10	1949- 1968	x x	Dachziegel	2,75	2180,00	-	ZUB, 2009b, S. 79	25,8	392,6	534,2	4,7	110,5	613,8
			Lattung	0,50	484,51	-							
			Konterlattung	0,48	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Sparren	2,20	492,92	-							
Schalung	2,40	484,51	0,14										
PRO _11	1919- 1957	x x	Dachziegel	2,75	2180,00	-	ZUB, 2009b, S. 110	34,0	449,9	634,1	17,9	242,0	643,7
			Lattung	0,50	484,51	-							
			Konterlattung	0,48	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Sparren	2,50	492,92	-							
Holzwohle- Leichtbauplatte	2,50	360,00	0,09										
Innenputz	1,00	900,00	0,70										
PRO _12	1958- 1968	x	Dachziegel	2,75	2180,00	-	ZUB, 2009b, S. 111	35,6	470,4	651,9	20,6	277,7	657,1
			Lattung	0,50	484,51	-							
			Konterlattung	0,48	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	11,00/ 10,00	-	-							
			Mineralwolle (Schrägdach)	4,00	30,00 - 200,00	0,04							
Sparren	2,20	492,92	0,14										
Holzwohle- Leichtbauplatte	2,50	360,00	0,09										
Innenputz	1,00	900,00	0,70										
PRO _13	1958- 1968	x	Dachziegel	2,75	2180,00	-	ZUB, 2009b, S. 112	40,9	498,9	755,5	23,1	275,8	721,7
			Lattung	0,50	484,51	-							
			Konterlattung	0,48	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Sparren	2,20	492,92	-							
Holzwohle- Leichtbauplatte	5,00	360,00	0,09										
Innenputz	1,00	900,00	0,70										
PRO _14	1969- 1978	x	Dachziegel	2,75	2180,00	-	ZUB, 2009b, S. 113	31,0	465,5	580,1	18,9	303,1	624,4
			Lattung	0,50	484,51	-							
			Konterlattung	0,48	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	8,00	-	-							
			Mineralwolle (Schrägdach)	6,00	30,00 - 200,00	0,04							
Sparren	2,20	492,92	0,14										
Gipskartonplatte	1,25	800,00	0,21										
Innenputz	1,00	900,00	0,70										

A.2 Bilanzierte Altbaukonstruktionen

PRO _15	1969- 1978	x	Dachziegel	2,75	2180,00	-	ZUB, 2009b, S. 113	30,1	439,6	568,1	13,3	214,9	630,8
			Lattung	0,50	484,51	-							
			Konterlattung	0,48	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	8,00	-	-							
			Mineralwolle (Schrägdach)	6,00	30,00 - 200,00	0,04							
			Sparren	2,20	492,92	0,14							
			Profilbretter	1,25	484,51	0,21							
Innenputz	1,00	900,00	0,70										
<hr/>													
PRO _16	bis 1948	x x	Dachziegel	2,75	2180,00	-	ZUB, 2009b, S. 127	25,0	398,1	525,7	11,8	220,6	574,4
			Lattung	0,50	484,51	-							
			Konterlattung	0,48	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Sparren	2,50	492,92	-							
			Schilfrohrmatte	1,50	100,00	0,08							
Innenputz	1,00	900,00	1,00										
<hr/>													
PRO _17	bis 1948	x x	Dachziegel	2,75	2180,00	-	ZUB, 2009b, S. 128	29,1	422,7	568,1	8,3	145,3	646,2
			Lattung	0,50	484,51	-							
			Konterlattung	0,48	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Sparren	2,50	492,92	-							
Spalierlatten	2,00	484,51	0,13										
Innenputz	1,50	900,00	1,00										
<hr/>													
PRO _18	1919- 1978	x x x x	Dachziegel	2,75	2180,00	-	ZUB, 2009b, S. 129	39,1	495,9	753,0	14,0	171,3	777,9
			Lattung	0,50	484,51	-							
			Konterlattung	0,48	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Sparren	2,20	492,92	-							
			Schalung	2,40	484,51	0,14							
			Holzwohle- Leichtbauplatte	3,50	360,00	0,08							
Innenputz	1,50	900,00	1,00										
<hr/>													
PRO _19	1958- 1978	x x	Dachziegel	2,75	2180,00	-	ZUB, 2009b, S. 130	34,9	476,0	676,7	11,3	164,3	719,7
			Lattung	0,50	484,51	-							
			Konterlattung	0,48	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Sparren	2,20	492,92	-							
			Schalung	2,40	484,51	-							
			Holzwohle- Leichtbauplatte mit Polystyrolkern	3,50	360,00/ 18,00	0,04							
Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70										
<hr/>													
PRO _20	1969- 1983	x x	Dachziegel	2,75	2180,00	-	ZUB, 2009b, S. 131, 132	34,0	518,0	629,6	20,4	331,9	647,8
			Lattung	0,50	484,51	-							
			Konterlattung	0,48	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	4,00- 10,00	-	-							
			Schrägdach- dämmung (unspezifisch)	10,00	30,00- 200,00	0,04							
			Sparren	2,20	492,92	0,14							
Gipskartonplatte	1,25	800,00	0,25										
<hr/>													
PRO _21	1949- 1978	x x x	Dachziegel	2,75	2180,00	-	ZUB, 2009b, S. 133	46,6	516,0	694,4	32,1	327,8	705,4
			Lattung	0,50	484,51	-							
			Konterlattung	0,48	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	4,00	-	-							
			Bimshohlblock- stein	8,50	900,00	0,28							
			Sparren	2,20	492,92	0,14							
			Holzwohle- Leichtbauplatte	2,00	360,00	0,09							
Innenputz	1,50	900,00	0,70										
<hr/>													
PRO _22	1949- 1978	x x x	Dachziegel	2,75	2180,00	-	ZUB, 2009b, S. 133	38,6	475,1	620,0	26,4	311,1	662,3
			Lattung	0,50	484,51	-							
			Konterlattung	0,48	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	4,00	-	-							
			Bimshohlblock- stein	8,50	900,00	0,28							
			Sparren	2,20	492,92	0,14							
Schilfrohrmatte	2,00	100,00	0,09										
Innenputz	1,50	900,00	0,70										

PRO _23	bis 1978	x x x x x	Dachziegel	2,75	2180,00	-	ZUB, 2009b, S. 186, 187	40,9	498,9	755,5	23,1	275,8	721,7
			Lattung	0,50	484,51	-							
			Konterlattung	0,48	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Sparren	2,20	492,92	-							
Holzwohle- Leichtbauplatte	5,00	360,00	0,09										
Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70										
PRO _24	1969- 1994	x x x	Dachziegel	2,75	2180,00	-	ZUB, 2009b, S. 188	35,6	470,4	651,9	20,6	277,7	657,1
			Lattung	0,50	484,51	-							
			Konterlattung	0,48	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Sparren	2,20	492,92	0,14							
Holzwohle- Leichtbauplatte	2,50	360,00	0,09										
Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70										
PRO _25	1870- 1918	x	Schiefer/Ziegel/ Biber	1,40	2727,00/ 2180,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 32, 42, 52	14,6	207,9	347,7	-7,5	-88,5	432,9
			Schalung	2,40	484,51	0,13							
			Lattung	0,98	484,51	-							
			Sparren	2,50	492,92	-							
PRO _26	bis 1918	x	Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 32	15,6	971,3	1093,9	-2,8	724,6	1165,6
			Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	0,13							
			Sparren	2,50	492,92	-							
PRO _27	1949- 1978	x x x	Dachziegel	1,53	2180,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 72	17,0	235,5	285,1	12,9	181,1	293,9
			Lattung	1,00	484,51	-							
			Stahlbeton B15-B25 (97/3)	1,30	2400,00	-							
PRO _28	1991- 2000	x x	Zinkblech	0,20	7850,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 120	114,4	1623,8	1829,2	41,4	928,1	1473,3
			Bitumendachbahn	0,60	1000,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	0,13							
			PE-Folie Dach	0,10	930,00	-							
			Sparren	2,50	492,92	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	1,80	26,25	0,04							
			PE-Folie Dach	0,10	930,00	-							
Gipskartonplatte	1,50	800,00	0,25										
PRO _29	1961- 2000	x x x x x	Betondachstein	1,50	2150,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 120, 177	9,6	80,2	148,7	-1,8	-71,6	192,5
			Lattung	0,60	484,51	-							
			Sparren	2,40	492,92	-							
PRO _30	1961- 1990	x x x x	Doppelrömer	1,20	2150,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 139	8,4	74,0	147,5	-4,0	-92,9	195,7
			Lattung	0,60	484,51	-							
			Konterlattung	0,20	484,51	-							
			Holz nagelbinder	2,50	492,92	-							
PRO _31	1961- 2000	x x	Dachziegel	1,50	2180,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 148	23,4	346,5	434,4	9,4	156,3	429,0
			Lattung	0,60	484,51	-							
			Sparren	2,40	492,92	-							
			Kunststoffbahn	0,10	1250,00	-							
PRO _32	1961- 1990	x x x x	Doppelrömer	1,50	2150,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 158	9,6	80,2	148,7	-1,8	-71,6	192,5
			Sparschalung	0,60	484,51	-							
			Sparren	2,40	492,92	-							
PRO _33	1961- 2000	x x x x x	Betondachstein	2,50	2150,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 168	14,1	110,4	182,4	2,8	-41,5	226,2
			Lattung	0,60	484,51	-							
			Sparren	2,40	492,92	-							
PRO _34	1961- 1978	x x	Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 188	10,3	645,7	730,1	-2,9	470,3	781,4
			Schalung	2,40	484,51	0,13							
			Holz nagelbinder	0,90	492,92	-							
			Konterlattung	0,20	484,51	-							
PRO _35	1991- 2000	x x	Betondachstein	2,00	2150,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 197	20,8	223,5	304,7	6,6	29,2	301,9
			Lattung	0,60	484,51	-							
			Sparren	2,50	492,92	-							
			Kunststoffbahn	0,10	1250,00	-							

A.2 Bilanzierte Altbaukonstruktionen

PRO _36	2002- 2020	x x x	Blecheindeckung (Edelstahl)	0,04	7900,00	-	dataholz.eu, 2021, Bauteil sdrhbi01a (ohne Dämmung und Innenverkleidung)	22,5	296,8	483,1	-9,4	-129,0	534,7
			Strukturierte Trennlage (Kunststofffaser- vlies)	0,16	81,25	-							
			Schalung	2,40	484,51	-							
			Konterlattung	0,24	484,51	-							
			Unterdeckbahn	0,02	262,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	-							
			Konstruktionsvoll- holz	2,50	492,92	-							
PRO _37	2002- 2020	x x x	Dachziegel	3,21	2180,00	-	dataholz.eu, 2021, Bauteil sdrhzi06b-03 (mit BSH statt KVH in der Standardabmes- sung 12/28 cm und ohne Dämmung)	50,3	788,8	1106,5	13,6	226,1	1200,5
			Lattung	0,80	484,51	-							
			Konterlattung	0,64	484,51	-							
			Unterdeckbahn	0,02	262,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	-							
			Brettschichtholz	4,03	507,11	-							
			OSB-Platte	1,50	600,00	-							
Lattung	0,38	484,51	-										
Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	-										
PRO _38	2002- 2020	x x x	Blecheindeckung (Edelstahl)	0,04	7900,00	-	dataholz.eu, 2021, Bauteil sdrhbi01a-04; Trennlage nach BauderTOP VENT NSK	29,7	360,2	716,4	-8,2	-148,3	661,6
			Strukturierte Trennlage (Kunststofffaser- vlies)	0,16	81,25	-							
			Schalung	2,40	484,51	-							
			Konterlattung	0,24	484,51	-							
			Unterdeckbahn	0,02	262,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	0,13							
			Konstruktionsvoll- holz	2,50	492,92	0,13							
			Luftschicht	4,52	-	0,31							
			Zellulosefaser- Einblasdämmung	18,98	45,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
GKF-Platte	1,25	800,00	0,25										
PRO _39	2002- 2020	x x x	Dachziegel	3,21	2180,00	-	dataholz.eu, 2021, Bauteil sdrhzi06b-03 (mit Holzfaser- statt Mineralwoll- dämmung und BSH statt KVH in der Standardab- messung 12/28 cm)	79,2	1134,5	2143,6	26,0	284,8	1860,8
			Lattung	0,80	484,51	-							
			Konterlattung	0,64	484,51	-							
			Unterdeckbahn	0,02	262,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	0,13							
			Brettschichtholz	4,03	507,11	0,13							
			Luftschicht	7,70	-	0,551							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	16,26	160,00	0,04							
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
			Lattung	0,29	484,51	0,13							
Holzfaserdämmung (Innenausbau)	2,71	160,00	0,04										
Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35										
FRO wood_ 1	1958- 1968	x	Kies	5,00	1850,00	-	ZUB, 2009b, S. 37; Mindestdicke Kiesschicht nach www.baunetzwiss en.de "Flach- dach - Wind- sogrichtung durch Auflast"	51,2	1363,5	1646,8	20,6	961,5	1708,1
			Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-							
			Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	-							
			Flachdach- dämmung (unspezifisch)	8,00	30,00- 200,00	0,04							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Holzbalken	2,50	492,92	0,14							
			Schalung	2,40	484,51	0,14							
			Holzwolle- Leichtbauplatte	2,50	360,00	0,09							
			Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70							

FRO wood_ 2	1969- 1978	x	Kies	5,00	1850,00	-	ZUB, 2009b, S. 40; Mindestdicke Kiesschicht nach www.baunetzwiss en.de "Flach- dach - Wind- sogrichtung durch Auflast"	47,9	1371,3	1589,3	20,1	999,7	1689,7
			Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-							
			Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	-							
			Flachdach- dämmung (unspezifisch)	10,00	30,00- 200,00	0,04							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Holzbalken	2,50	492,92	0,14							
			Schalung	2,40	484,51	0,14							
			Gipskartonplatte	1,25	680,00	0,21							
								39,9	1283,1	1444,7	21,1	1031,3	1509,8
FRO wood_ 3	1969- 1978	x	Kies	5,00	1850,00	-	ZUB, 2009b, S. 115; Mindestdicke Kiesschicht nach www.baunetzwiss en.de "Flach- dach - Wind- sogrichtung durch Auflast"	39,9	1283,1	1444,7	21,1	1031,3	1509,8
			Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-							
			Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Mineralwolle (Flachdach)	6,00	30,00- 200,00	0,04							
			Holzbalken	2,50	492,92	0,14							
			Gipskartonplatte	1,25	800,00	0,21							
			Innenputz	1,00	900,00	0,70							
								39,0	1257,2	1432,7	15,5	943,0	1516,2
FRO wood_ 4	1969- 1978	x	Kies	5,00	1850	-	ZUB, 2009b, S. 115; Mindestdicke Kiesschicht nach www.baunetzwiss en.de "Flach- dach - Wind- sogrichtung durch Auflast"	39,0	1257,2	1432,7	15,5	943,0	1516,2
			Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000	-							
			Bitumendachbahn	0,80	1000	-							
			Schalung	2,40	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Mineralwolle (Flachdach)	6,00	30,00- 200,00	0,04							
			Holzbalken	2,50	492,92	0,14							
			Profilbretter	1,25	484,51	0,21							
			Innenputz	1,00	900	0,70							
								16,1	976,8	1112,9	-5,0	695,1	1194,8
FRO wood_ 5	1919- 1945	x	Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000	-	Gruhler et al., 2002, S. 61	16,1	976,8	1112,9	-5,0	695,1	1194,8
			Bitumendachbahn	0,80	1000	-							
			Schalung	2,40	484,51	-							
			Konterlattung	0,20	484,51	-							
			Kantholz	0,50	484,51	-							
			Sparren	2,50	492,92	-							
								53,4	731,6	1065,5	29,3	329,8	923,1
FRO wood_ 6	2002- 2020	x x x	PVC-Dachbahn	0,12	1250,00	-	Flachdachaus- führungen nach DIN 18531, Teil 1- 4 und DIN 18195: Kunststoffdach- bahn; in Anlehnung an: dataholz.eu, 2021, Bauteil fdroba01a (ohne Installations- ebene); Wahl der Abmessungen des KVH nach Informations- dienst Holz, 2020, Konstruktionsvoll- holz KVH und Balkenschichtholz	53,4	731,6	1065,5	29,3	329,8	923,1
			Glasvlies Dach	0,05	229,40	-							
			OSB-Platte	2,50	600,00	0,13							
			Konstruktionsvoll- holz	1,51	492,92	0,13							
			Zellulosefaser- Einblasdämmung	19,49	45,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			GKF-Platte	1,50	800,00	0,25							

A.2 Bilanzierte Altbaukonstruktionen

FRO wood_ 7	2002- 2020	x	x	x	Vegetationssubstrat, 750 kg/m³	2,60	750,00	-	Flachdachausführungen nach	130,1	2685,6	3917,9	46,8	1285,4	3473,6
					Filtervlies, PP	0,03	95,50	-	DIN 18531, Teil 1						
					Drainmatte, 2,8 kg/m²	0,29	46,70	-	4 und DIN 18195;						
					Schutzvlies, 300 g/m²	0,08	83,30	-	Ausführung in						
					Dachabdichtung, wurzelfest	0,40	1550,00	-	Anlehnung an						
					Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-	Optigrün						
					OSB-Platte	2,50	600,00	-	Spardach und						
					Konterlattung	0,60	484,51	-	Retentions-						
					Unterdeckbahn	0,02	262,00	-	dach Mäander 60						
					OSB-Platte	1,20	600,00	0,13	sowie						
					Holzfaserdämmung (Innenausbau)	13,37	160,00	0,04	dataholz.eu,						
					Luftschicht	18,09	-	1,411	2021, Bauteil						
					Brettschichtholz	8,53	507,11	0,13	fdrhbi06a; Für						
					OSB-Platte	1,50	600,00	0,13	statische Ver-						
Lattung	1,00	484,51	0,13	gleichbarkeit mit											
Holzfaserdämmung (Innenausbau)	4,00	160,00	0,04	den Brettsper-											
Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	holz- und											
FRO wood_ 8	2002- 2020	x	x	x	PVC-Dachbahn	0,12	1250,00	-	Flachdachaus-	80,0	1380,4	1738,7	28,5	600,9	1707,3
					Glasvlies Dach	0,05	229,40	-	führungen nach						
					Polystyroldäm-	14,00	26,90	0,035	DIN 18531,						
					mung Flachdach, EPS 035	0,50	1000,00	-	Teil 1-4 und DIN						
					Bitumendachbahn	12,00	489,41	0,13	18195;						
					Brettspertholz	2,50	1000,00	0,35	Mindestdicke						
FRO wood_ 9	2002- 2020	x	x	x	Vegetationssubstrat, 750 kg/m³	2,60	750,00	-	Flachdachaus-	135,0	2962,2	3753,3	33,8	1435,3	3694,8
					Filtervlies, PP	0,03	95,50	-	führungen nach						
					Drainmatte, 2,8 kg/m²	0,29	46,70	-	DIN 18531,						
					Schutzvlies, 300 g/m²	0,08	83,30	-	Teil 1-4 und DIN						
					Dachabdichtung, wurzelfest	0,40	1550,00	-	18195;						
					Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-	Ausführung in						
					Polystyrol-	12,00	32,00	0,04	Anlehnung an						
					dämmung, XPS (DA)	0,50	1000,00	-	Optigrün						
Bitumendachbahn	24,00	489,41	0,13	Spardach und											
Brettspertholz	2,50	1000,00	0,35	Retentions-											
Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	dach Mäander 60											
FRO mas_ _1	1958- 1968	x			Kies	5,00	1850,00	-	Flachdachaus-	108,6	1943,9	2470,9	58,3	1270,7	2591,7
					Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-	führungen nach						
					Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-	DIN 18531,						
					Schalung	2,40	484,51	-	Teil 1-4 und DIN						
					Flachdach-	8,00	30,00-	0,04	18195;						
					dämmung (unspezifisch)	2,00	200,00	-	Ausführung in						
					Luftschicht, stark belüftet	10,00	492,92	0,14	Anlehnung an						
					Holzbalken	15,00	2400,00	1,51	Optigrün						
					Stahlbeton	1,00	900,00	0,70	Spardach und						
					B15-B25 (96/4)	1,00	900,00	0,70	Retentions-						
Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	dach Mäander 60											
FRO mas_ _2	1969- 1978	x			Kies	5,00	1850,00	-	Flachdachaus-	99,7	1830,2	2149,6	86,8	1658,0	2125,8
					Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-	führungen nach						
					Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-	DIN 18531,						
					Flachdach-	8,00	30,00-	0,04	Teil 1-4 und DIN						
					dämmung (unspezifisch)	2,00	200,00	-	18195;						
					Holzbalken	10,00	492,92	0,14	Ausführung in						
					Stahlbeton	15,00	2400,00	1,51	Anlehnung an						
					B15-B25 (96/4)	1,00	900,00	0,70	Optigrün						
					Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	Spardach und						
						1,00	900,00	0,70	Retentions-						

FRO mas _3	1969- 1978	x	Kies	5,00	1850,00	-	ZUB, 2009b, S. 80;	85,5	1720,8	2007,8	82,0	1674,3	1946,2
			Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-	Mindestdicke						
			Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-	Kiesschicht nach						
			Schaumglas	6,00	115,00	k.A.	www.baunetzwiss en.de "Flachdach						
			Stahlbeton B15-B25 (96/4)	15,00	2400,00	1,51	- Windsog- richtung durch Auflast"						
FRO mas _4	1949- 1978	x x x	Kies	5,00	1850,00	-	ZUB, 2009b, S. 81;	82,2	1645,4	1887,2	78,7	1600,2	1826,9
			Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-	Mindestdicke						
			Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-	Kiesschicht nach						
			Flachdach- dämmung (unspezifisch)	2,00	30,00- 200,00	0,04	www.baunetzwiss en.de "Flachdach						
			Stahlbeton B15-B25 (96/4)	15,00	2400,00	1,51	- Windsog- richtung durch Auflast"						
FRO mas _5	1969- 1978	x	Kies	5,00	1850,00	-	ZUB, 2009b, S. 114;	90,8	1734,5	1989,8	87,4	1689,2	1929,5
			Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-	Mindestdicke						
			Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-	Kiesschicht nach						
			Mineralwolle (Flachdach)	6,00	30,00- 200,00	0,04	www.baunetzwiss en.de "Flachdach						
			Stahlbeton B15-B25 (96/4)	15,00	2400,00	1,51	- Windsog- richtung durch Auflast"						
FRO mas _6	1949- 1978	x x x	Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-		33,0	1100,9	1179,2	32,3	1092,8	1168,4
			Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 81						
			Zementestrich	2,00	2400,00	1,40							
			Stahlbeton B15-B25 (96/4)	3,00	2400,00	1,51							
FRO mas _7	1949- 1994	x x x x x	Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-		44,7	1212,3	1332,0	43,5	1196,2	1310,5
			Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 91						
			Zementestrich	2,00	2400,00	1,40							
			Stahlbeton B15-B25 (96/4)	6,00	2400,00	1,51							
FRO mas _8	1979- 1994	x x	Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-		44,7	1212,3	1332,0	43,5	1196,2	1310,5
			Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 91						
			Ausgleichsestrich	2,00	2400,00	1,40							
			Stahlbeton B15-B25 (96/4)	6,00	2400,00	1,51							
FRO mas _9	1979- 1990	x x	Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-		52,5	1286,6	1434,0	50,9	1265,2	1405,3
			Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 100						
			Ausgleichsestrich	2,00	2400,00	1,40							
			Stahlbeton B15-B25 (96/4)	8,00	2400,00	1,51							
FRO mas _10	1979- 1990	x x	Schiefersplitt in Bitumenemulsion	1,00	1045,00	-		131,5	3676,9	3977,2	125,1	3588,7	3861,8
			Bitumendachbahn	1,20	1000,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 110						
			Schaumpolystyrol- Gefällebeton	8,00	350,00	1,51							
			Stahlbeton B15-B25 (96/4)	14,00	2400,00	1,51							
FRO mas _11	1979- 1990	x x	Schiefersplitt in Bitumenemulsion	1,00	1045,00	-		133,1	4234,9	4546,2	127,1	4150,7	4440,7
			Bitumendachbahn	1,20	1000,00	-							
			Schaumpolystyrol- Gefällebeton	3,50	350,00	1,51							
			Bitumendachbahn	0,40	1000,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 110						
			Dämmung Flachdach (EPS)	5,00	18,00	0,04							
			Bitumendachbahn	0,40	1000,00	-							
			Stahlbeton B15-B25 (96/4)	14,00	2400,00	1,51							
FRO mas _12	1995- 2001	x	PVC-Dachbahn	0,12	1250,00	-	Flachdachaus- führungen nach	94,2	1331,9	1485,6	82,9	1167,7	1287,0
			Glasvlies Dach	0,05	229,40	-	DIN 18531, Teil 1						
			Polystyroldäm- mung Flachdach, EPS 035	11,00	26,90	0,035	4 und DIN 18195;						
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-	Mindestdicke						
			Stahlbeton C20/25 (99/1)	16,00	2400,00	2,30	Stahlbeton nach Bautabellen für Ingenieure, 2012, S. 4.97 (l= 4 m; Zweifeldträger)						

A.2 Bilanzierte Altbaukonstruktionen

FRO mas _13	1995- 2001	x	Vegetationssubstrat, 750 kg/m³	2,60	750,00	-	Flachdachaus- führungen nach	174,5 3013,2 3393,7	152,0 2691,4 2976,5
			Filtervlies, PP	0,03	95,50	-	DIN 18531, Teil		
			Drainmatte, 2,8 kg/m²	0,29	46,70	-	1-4 und DIN		
			Schutzvlies, 300 g/m²	0,08	83,30	-	18195;		
			Dachabdichtung, wurzelfest	0,40	1550,00	-	Ausführung in		
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-	Anlehnung an		
			Polystyrolämmung, XPS (DA)	13,00	32,00	0,04	Optigrün		
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-	Spardach und		
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	24,00	2400,00	2,50	Retensionsdach		
			Innenputz	2,00	900,00	0,70	Mäander 60;		
FRO mas _14	2002- 2020	x x x	PVC-Dachbahn	0,12	1250,00	-	Flachdachaus- führungen nach	103,9 1466,3 1621,8	89,8 1260,8 1377,8
			Glasvlies Dach	0,05	229,40	-	DIN 18531, Teil		
			Polystyrolämmung Flachdach, EPS 035	17,00	26,90	0,035	1-4 und DIN		
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-	18195;		
			Stahlbeton C20/25 (99/1)	16,00	2400,00	2,40	Mindestdicke		
FRO mas _15	2002- 2020	x x x	Vegetationssubstrat, 750 kg/m³	2,60	750,00	-	Flachdachaus- führungen nach	187,4 3184,6 3576,1	161,9 2819,3 3102,9
			Filtervlies, PP	0,03	95,50	-	DIN 18531, Teil 1		
			Drainmatte, 2,8 kg/m²	0,29	46,70	-	4 und DIN 18195;		
			Schutzvlies, 300 g/m²	0,08	83,30	-	Ausführung in		
			Dachabdichtung, wurzelfest	0,40	1550,00	-	Anlehnung an		
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-	Optigrün		
			Polystyrolämmung, XPS (DA)	19,00	32,00	0,04	Spardach und		
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-	Retensionsdach		
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	24,00	2400,00	2,50	Mäander 60;		
			Innenputz	2,00	900,00	0,70	Maximaldicke		
EW mas _1	bis 1918	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 8;	61,1 444,4 551,7	59,8 425,1 530,7
			Vollziegel	25,00	1800,00/ 2000,00	0,79	Minimaldicke		
			Außenputz	1,50	1800,00	0,87			
EW mas _2	bis 1918	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 8;	110,5 806,4 985,7	107,9 767,2 942,8
			Vollziegel	51,00	1800,00/ 2000,00	0,79	Maximaldicke		
			Außenputz	1,50	1800,00	0,87			
EW mas _3	bis 1918	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 11;	40,1 298,2 356,8	39,1 282,8 340,0
			Vollziegel	20,00	1800,00/ 2000,00	0,79	Minimaldicke		
EW mas _4	bis 1918	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 11;	74,3 548,8 657,2	72,3 519,6 625,3
			Vollziegel	38,00	1800,00/ 2000,00	0,79	Maximaldicke		
EW mas _5	1949- 1957	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70		59,2 430,4 535,0	58,0 412,0 514,8
			Vollziegel	24,00	1800,00/ 2000,00	0,79	ZUB, 2009b, S. 14		
			Glattputz (Kalkzement)	1,50	1800,00	0,87			
EW mas _6	1949- 1957	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70		59,2 430,4 535,0	58,0 412,0 514,8
			Hochlochziegel (75/25)	24,00	1400,00/ 2000,00	0,60	ZUB, 2009b, S. 14		
			Glattputz (Kalkzement)	1,50	1800,00	0,87			
EW mas _7	1949- 1957	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70		75,0 433,3 552,6	74,0 420,1 535,6
			Ziegelsplittbeton	24,00	1400,00	0,58	ZUB, 2009b, S. 15		
			Glattputz (Kalkzement)	1,50	1800,00	0,87			
EW mas _8	1949- 1957	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70		81,0 531,2 646,6	81,0 531,2 646,6
			Kalksandstein (75/25)	24,00	1400,00/ 2000,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 16;		
			Glattputz (Kalkzement)	1,50	1800,00	0,87	Minimaldicke		
EW mas _9	1949- 1957	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70		97,9 639,9 774,6	97,9 639,9 774,6
			Kalksandstein (75/25)	30,00	1400,00/ 2000,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 16;		
			Glattputz (Kalkzement)	1,50	1800,00	0,87	Maximaldicke		

EW mas _10	1958- 1968	x	Kalkgipsputz Kalksandstein (75/25) Glattputz (Kalkzement)	1,00 30,00 1,50	900,00 1400,00/ 2000,00 1800,00	0,70 0,70 0,87	ZUB, 2009b, S. 23	97,9 639,9 774,6	97,9 639,9 774,6
EW mas _11	1958- 1968	x	Kalkgipsputz Ziegelsplittbeton Glattputz (Kalkzement)	1,00 30,00 1,50	900,00 1400,00 1800,00	0,70 0,58 0,87	ZUB, 2009b, S. 24	90,4 517,6 657,1	89,1 501,1 635,9
EW mas _12	1949- 1978	x x x	Kalkgipsputz Bimshohlblockstein Außenputz	1,00 24,00 1,50	900,00 1400,00/ 2000,00 1800,00	0,70 0,56 0,87	ZUB, 2009b, S. 58; Minimaldicke	51,3 295,5 375,5	51,0 291,0 369,8
EW mas _13	1949- 1978	x x x	Kalkgipsputz Bimshohlblockstein Außenputz	1,00 38,00 1,50	900,00 1400,00/ 2000,00 1800,00	0,70 0,56 0,87	ZUB, 2009b, S. 58; Maximaldicke	73,3 411,7 516,1	72,8 404,7 507,0
EW mas _14	1949- 1968	x x	Kalkgipsputz Vollziegel Außenputz	1,00 24,00 1,50	900,00 1800,00/ 2000,00 1800,00	0,70 0,79 0,87	ZUB, 2009b, S. 59; Minimaldicke	59,2 430,4 535,0	58,0 412,0 514,8
EW mas _15	1949- 1968	x x	Kalkgipsputz Vollziegel Außenputz	1,00 30,00 1,50	900,00 1800,00/ 2000,00 1800,00	0,70 0,79 0,87	ZUB, 2009b, S. 59; Maximaldicke	70,6 514,0 635,2	69,1 490,9 609,9
EW mas _16	1949- 1978	x x x	Kalkgipsputz Hochlochziegel (75/25) Außenputz	1,00 24,00 1,50	900,00 1400,00/ 2000,00 1800,00	0,70 0,60 0,87	ZUB, 2009b, S. 60; Minimaldicke	59,2 430,4 535,0	58,0 412,0 514,8
EW mas _17	1949- 1978	x x x	Kalkgipsputz Hochlochziegel (75/25) Außenputz	1,00 36,00 1,50	900,00 1400,00/ 2000,00 1800,00	0,70 0,60 0,87	ZUB, 2009b, S. 60; Maximaldicke	82,0 597,5 735,3	80,1 569,8 705,0
EW mas _18	1969- 1978	x	Kalkgipsputz Hochlochziegel (75/25) Dämmung AW (Holzwolle-WDVS) Außenputz	1,00 24,00 2,00 1,50	900,00 1400,00/ 2000,00 30,00- 200,00 1800,00	0,70 0,60 0,04 0,87	ZUB, 2009b, S. 61; Minimaldicke Ziegel und Dämmung; Annahme Holzwolle, da größten Umweltwirkungen	70,8 514,8 745,7	64,9 447,7 663,0
EW mas _19	1969- 1978	x	Kalkgipsputz Hochlochziegel (75/25) Dämmung AW (Holzwolle-WDVS) Außenputz	1,00 30,00 2,00 1,50	900,00 1400,00/ 2000,00 30,00- 200,00 1800,00	0,70 0,60 0,04 0,87	ZUB, 2009b, S. 61; Maximaldicke Ziegel und Minimaldicke Dämmung; Annahme Holzwolle, da größten Umweltwirkungen	82,2 598,4 845,9	76,0 526,7 758,1
EW mas _20	1969- 1978	x	Kalkgipsputz Hochlochziegel (75/25) Dämmung AW (Holzwolle-WDVS) Außenputz	1,00 24,00 4,00 1,50	900,00 1400,00/ 2000,00 30,00- 200,00 1800,00	0,70 0,6 0,04 0,87	ZUB, 2009b, S. 61; Minimaldicke Ziegel und Maximaldicke Dämmung; Annahme Holzwolle, da größten Umweltwirkungen	82,3 599,2 956,4	71,9 483,5 811,1
EW mas _21	1969- 1978	x	Kalkgipsputz Hochlochziegel (75/25) Dämmung AW (Holzwolle-WDVS) Außenputz	1,00 30,00 4,00 1,50	900,00 1400,00/ 2000,00 30,00 - 200,00 1800,00	0,7 0,6 0,04 0,87	ZUB, 2009b, S. 61; Maximaldicke Ziegel und Dämmung; Annahme Holzwolle, da größten Umweltwirkungen	93,7 682,8 1056,6	83,0 562,4 906,2
EW mas _22	1949- 1968	x x	Kalkgipsputz Bimsvollsteine Außenputz	1,00 24,00 1,50	900,00 1200,00/ 2000,00 1800,00	0,70 0,47 0,87	ZUB, 2009b, S. 62; Minimaldicke	51,3 295,5 375,5	51,0 291,0 369,8
EW mas _23	1949- 1968	x x	Kalkgipsputz Bimsvollsteine Außenputz	1,00 30,00 1,50	900,00 1200,00/ 2000,00 1800,00	0,70 0,47 0,87	ZUB, 2009b, S. 62; Maximaldicke	60,8 345,3 435,7	60,3 339,7 428,6

A.2 Bilanzierte Altbaukonstruktionen

EW mas _24	1949- 1978	x x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 63; Minimaldicke	70,6	514,0	635,2	69,1	490,9	609,9
			Hochlochziegel (75/25)	30,00	1200,00/ 2000,00	0,52							
			Außenputz	1,50	1800,00	0,87							
EW mas _25	1949- 1978	x x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 63; Maximaldicke	82,0	597,5	735,3	80,1	569,8	705,0
			Hochlochziegel (75/25)	36,00	1200,00/ 2000,00	0,52							
			Außenputz	1,50	1800,00	0,87							
EW mas _26	1949- 1978	x x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 63; Minimaldicke	85,8	519,2	651,8	85,6	515,7	647,3
			Gasbeton(block/ -steine)	30,00	624,80	-							
			Außenputz	1,50	1800,00	0,87							
EW mas _27	1949- 1978	x x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 63; Maximaldicke	100,3	603,8	755,3	100,0	599,6	749,9
			Gasbeton(block/ -steine)	36,00	624,80	-							
			Außenputz	1,50	1800,00	0,87							
EW mas _28	1949- 1978	x x x	Innenputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 65; Minimaldicke	92,5	607,7	758,0	92,5	607,7	758,0
			Kalksandstein (75/25)	24,00	1400,00/ 2000,00	0,70							
			Dämmputz	3,00	30,00 - 200,00	0,04	Putz						
EW mas _29	1949- 1978	x x x	Innenputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 65; Maximaldicke	100,2	658,8	832,3	100,2	658,8	832,3
			Kalksandstein (75/25)	24,00	1400,00/ 2000,00	0,70							
			Dämmputz	4,00	30,00 - 200,00	0,04	Putz						
EW mas _30	bis 1918	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 85, 86; Minimaldicke	49,6	367,8	440,3	48,3	348,6	419,2
			Vollziegel	25,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
EW mas _31	bis 1918	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 85, 86; Maximaldicke	99,0	729,9	874,2	96,3	690,6	831,3
			Vollziegel	51,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
EW mas _32	bis 1918	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 85, 86; Minimaldicke	85,8	625,4	768,7	83,8	596,2	736,7
			Vollziegel	38,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Außenputz	1,50	1800,00	0,87							
EW mas _33	bis 1918	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 85, 86; Maximaldicke	110,5	806,4	985,7	107,9	767,2	942,8
			Vollziegel	51,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Außenputz	1,50	1800,00	0,87							
EW mas _34	1919- 1948	x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 87, 88; Minimaldicke	61,1	444,4	551,7	59,8	425,1	530,7
			Vollziegel	25,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Außenputz	1,50	1800,00	0,87							
EW mas _35	1919- 1948	x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 87, 88; Maximaldicke	85,8	625,4	768,7	83,8	596,2	736,7
			Vollziegel	38,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Außenputz	1,50	1800,00	0,87							
EW mas _36	1919- 1948	x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 89, 90; Minimaldicke	52,9	303,8	385,5	52,6	299,1	379,6
			Bimshohlblockstein	25,00	1400,00/ 2000,00	0,56							
			Außenputz	1,50	1800,00	0,87							
EW mas _37	1919- 1948	x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 89, 90; Maximaldicke	73,3	411,7	516,1	72,8	404,7	507,0
			Bimshohlblockstein	38,00	1400,00/ 2000,00	0,56							
			Außenputz	1,50	1800,00	0,87							
EW mas _38	1949- 1968	x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 91; Minimaldicke	51,3	295,5	375,5	51,0	291,0	369,8
			Bimshohlblockstein	24,00	1400,00/ 2000,00	0,56							
			Außenputz	1,50	1800,00	0,87							
EW mas _39	1949- 1968	x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 91; Maximaldicke	71,0	399,2	501,0	70,5	392,5	492,3
			Bimshohlblockstein	36,50	1400,00/ 2000,00	0,56							
			Außenputz	1,50	1800,00	0,87							
EW mas _40	1958- 1968	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 92; Minimaldicke	59,2	430,4	535,0	58,0	412,0	514,8
			Hochlochziegel (75/25)	24,00	1200,00/ 2000,00	0,52							
			Außenputz	1,50	1800,00	0,87							
EW mas _41	1958- 1968	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 92; Maximaldicke	70,6	514,0	635,2	69,1	490,9	609,9
			Hochlochziegel (75/25)	30,00	1200,00/ 2000,00	0,52							
			Außenputz	1,50	1800,00	0,87							
EW mas _42	1969- 1978	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 93; Minimaldicke	59,2	430,4	535,0	58,0	412,0	514,8
			Hochlochziegel (75/25)	24,00	1200,00/ 2000,00	0,52							
			Außenputz	1,50	1800,00	0,87							

EW mas _43	1969- 1978	x	Kalkgipsputz Hochlochziegel (75/25) Außenputz Innenputz	1,00 30,00 1,50 1,00	900,00 1400,00/ 2000,00 1800,00	0,70 0,52 0,87 1,00	ZUB, 2009b, S. 93; Maximaldicke	70,6 514,0 635,2	69,1 490,9 609,9
EW mas _44	1919- 1948	x	Vollziegel Außenputz Innenputz	24,00 1,00 1,00	1800,00/ 2000,00 900,00	0,81 1,00 1,00	ZUB, 2009b, S. 119; Minimaldicke	55,4 404,9 497,9	54,1 386,4 477,7
EW mas _45	1919- 1948	x	Vollziegel Außenputz Innenputz	30,00 1,00 1,00	1800,00/ 2000,00 900,00	0,81 1,00 1,00	ZUB, 2009b, S. 119; Maximaldicke	66,8 488,5 598,0	65,2 465,4 572,8
EW mas _46	1919- 1948	x	Vollziegel Außenputz Innenputz	24,00 1,00 1,00	1800,00/ 2000,00 900,00	0,81 1,00 1,00	ZUB, 2009b, S. 119; Minimaldicke	53,3 385,3 474,9	52,0 366,8 454,7
EW mas _47	1919- 1948	x	Vollziegel Außenputz Innenputz	30,00 1,00 1,00	1800,00/ 2000,00 900,00	0,81 1,00 1,00	ZUB, 2009b, S. 119; Maximaldicke	64,7 468,8 575,0	63,1 445,7 549,8
EW mas _48	1949- 1968	x x	Vollziegel Hochlochziegel (75/25) Außenputz Innenputz	24,00 1,50 1,00 1,00	1400,00/ 2000,00 900,00	0,58 1,00 1,00	ZUB, 2009b, S. 122; Minimaldicke	59,2 430,4 535,0	58,0 412,0 514,8
EW mas _49	1949- 1968	x x	Vollziegel Hochlochziegel (75/25) Außenputz Innenputz	36,50 1,50 1,00 1,00	1400,00/ 2000,00 900,00	0,58 1,00 1,00	ZUB, 2009b, S. 122; Maximaldicke	83,0 604,5 743,7	81,1 576,4 713,0
EW mas _50	1969- 1994	x x x	Vollziegel Hochlochziegel (75/25) Außenputz Innenputz	24,00 1,50 1,00 1,00	800,00 / 2000,00 900,00	0,39 1,00 1,00	ZUB, 2009b, S. 123; Minimaldicke	59,2 430,4 535,0	58,0 412,0 514,8
EW mas _51	1969- 1994	x x x	Vollziegel Hochlochziegel (75/25) Außenputz Innenputz	36,50 1,50 1,00 1,00	800,00 / 2000,00 900,00	0,39 1,00 1,00	ZUB, 2009b, S. 123; Maximaldicke	83,0 604,5 743,7	81,1 576,4 713,0
EW mas _52	1969- 1978	x	Kalkgipsputz Kalksandstein (75/25) Außenputz Innenputz	1,00 24,00 1,50 1,00	900,00 1400,00/ 2000,00 900,00	1,00 0,70 1,00 1,00	ZUB, 2009b, S. 124; Minimaldicke	81,0 531,2 646,6	81,0 531,2 646,6
EW mas _53	1969- 1978	x	Kalkgipsputz Kalksandstein (75/25) Außenputz Innenputz	1,00 30,00 1,50 1,00	900,00 1400,00/ 2000,00 900,00	1,00 0,70 1,00 1,00	ZUB, 2009b, S. 124; Maximaldicke	97,9 639,9 774,6	97,9 639,9 774,6
EW mas _54	1969- 1978	x	Kalkgipsputz Kalksandstein (75/25) Außenputz Innenputz	1,00 24,00 1,50 1,00	900,00 1800,00/ 2000,00 900,00	1,00 0,99 1,00 1,00	ZUB, 2009b, S. 125; Minimaldicke	81,0 531,2 646,6	81,0 531,2 646,6
EW mas _55	1969- 1978	x	Kalkgipsputz Kalksandstein (75/25) Außenputz Innenputz	1,00 30,00 1,50 1,00	900,00 1800,00/ 2000,00 900,00	1,00 0,99 1,00 1,00	ZUB, 2009b, S. 125; Maximaldicke	97,9 639,9 774,6	97,9 639,9 774,6
EW mas _56	1949- 1968	x x	Kalkgipsputz Hohlblockstein (90/10) Außenputz Innenputz	1,00 24,00 1,50 1,00	900,00 1000,00/ 2000,00 1800,00	1,00 0,64 1,00 1,00	ZUB, 2009b, S. 126; Minimaldicke	60,5 498,3 625,8	60,3 495,4 622,0
EW mas _57	1949- 1968	x x	Kalkgipsputz Hohlblockstein (90/10) Außenputz Innenputz	1,00 30,00 1,50 1,00	900,00 1000,00/ 2000,00 1800,00	1,00 0,64 1,00 1,00	ZUB, 2009b, S. 126; Maximaldicke	72,2 598,9 748,6	71,9 595,2 743,9
EW mas _58	bis 1918	x	Kalkgipsputz Naturstein- mauerwerk Außenputz Innenputz	1,00 40,00 1,50 1,00	900,00 1,30 1800,00 900,00	0,70 2,33 0,87 1,00	ZUB, 2009b, S. 148	77,8 640,6 735,8	76,2 619,3 708,4
EW mas _59	bis 1968	x x x x	Kalkgipsputz Vollziegel Außenputz Innenputz	1,00 25,00 1,50 1,00	900,00 1800,00/ 2000,00 900,00	0,70 0,79 1,00 1,00	ZUB, 2009b, S. 153; Minimaldicke	49,6 367,8 440,3	48,3 348,6 419,2
EW mas _60	bis 1968	x x x x	Kalkgipsputz Vollziegel Außenputz Innenputz	1,00 51,00 1,50 1,00	900,00 1800,00/ 2000,00 900,00	0,70 0,79 1,00 1,00	ZUB, 2009b, S. 153; Maximaldicke	99,0 729,9 874,2	96,3 690,6 831,3
EW mas _61	bis 1968	x	Kalkgipsputz Vollziegel Außenputz Innenputz	1,00 51,00 1,50 1,00	900,00 1800,00/ 2000,00 900,00	0,70 0,79 1,00 1,00	ZUB, 2009b, S. 154	99,0 729,9 874,2	96,3 690,6 831,3
EW mas _62	1919- 1948	x	Kalkgipsputz Hochlochziegel (75/25) Außenputz Innenputz	1,00 30,00 1,50 1,00	900,00 1400,00/ 2000,00 900,00	0,70 k.A. k.A. 1,00	ZUB, 2009b, S. 156	70,6 514,0 635,2	69,1 490,9 609,9

A.2 Bilanzierte Altbaukonstruktionen

EW mas _63	1949- 1994	x x x x x	Innenputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 157; Minimaldicke	60,5	498,3	625,8	60,3	495,4	622,0
			Hohlblockstein (90/10)	24,00	1400,00/ 2000,00	0,56							
			Außenputz	1,50	1800,00	0,87							
EW mas _64	1949- 1994	x x x x x	Innenputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 157; Maximaldicke	72,2	598,9	748,6	71,9	595,2	743,9
			Hohlblockstein (90/10)	30,00	1400,00/ 2000,00	0,56							
			Außenputz	1,50	1800,00	0,87							
EW mas _65	1969- 1994	x x x	Innenputz	1,00	900,00	k.A.	ZUB, 2009b, S. 158	71,4	434,6	548,3	71,2	431,8	544,7
			Gasbeton(block/ -steine)	24,00	472,00/ 2000,00	k.A.							
			Außenputz	1,50	1800,00	0,87							
EW mas _66	bis 1918	x	Innenputz	1,50	900,00	0,70		90,7	660,7	817,3	88,7	631,5	785,4
			Vollziegel/Mörtel	38,00	1800,00/ 2000,00	0,79	Gruhler et al., 2002, S. 31						
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
EW mas _67	1870- 1918	x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Gruhler et al., 2002, S. 41; Durchschnitts- dicke	80,7	586,9	728,9	78,9	561,8	701,4
			Vollziegel/Mörtel	32,70	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
EW mas _68	1870- 1918	x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Gruhler et al., 2002, S. 51; Durchschnitts- dicke	84,6	615,5	763,1	82,7	588,7	733,9
			Vollziegel/Mörtel	34,75	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
EW mas _69	1919- 1945	x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Gruhler et al., 2002, S. 61; Durchschnitts- dicke	86,4	628,7	779,0	84,5	601,2	748,9
			Vollziegel/Mörtel	35,70	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
EW mas _70	1919- 1945	x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Gruhler et al., 2002, S. 61	26,0	196,6	234,8	25,4	187,4	224,7
			Vollziegel/Mörtel	12,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
EW mas _71	1949- 1978	x x x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Gruhler et al., 2002, S. 71	87,9	639,9	792,3	86,0	611,8	761,6
			Vollziegel/Mörtel	36,50	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
EW mas _72	1949- 1978	x x x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Gruhler et al., 2002, S. 71; Durchschnitts- dicke	30,0	225,8	269,8	29,2	215,0	258,0
			Vollziegel/Mörtel	14,10	1800,00/ 2000,00	0,79							
EW mas _73	1949- 1978	x x x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Gruhler et al., 2002, S. 81; Durchschnitts- dicke	110,7	1045,7	1446,2	106,5	990,6	1372,4
			Stahlbeton B15-B25 (95/5)	20,80	2400,00	2,5							
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
EW mas _74	1949- 1994	x x x x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3)	7,50	2400,00	2,5	Gruhler et al., 2002, S. 91	25,5	227,5	309,0	23,9	207,2	281,9
EW mas _75	1979- 1990	x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3)	7,70	2400,00	2,5	Gruhler et al., 2002, S. 100; Durchschnitts- dicke	26,1	233,6	317,2	24,5	212,7	289,4
EW mas _76	1979- 1990	x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3)	27,40	2400,00	2,5	Gruhler et al., 2002, S. 109; Durchschnitts- dicke	93,0	831,1	1128,9	87,3	756,9	1029,7
EW mas _77	1991- 2000	x x	Innenputz	1,50	900,00	0,70		84,4	642,4	772,4	83,2	623,4	751,5
			Kalksandstein (95/5)	24,00	1800,00/ 2000,00	0,99	Gruhler et al., 2002, S. 119; durchschnittliche Dämmdicke						
			Polystyrolämmung Wand und Dach, EPS	4,00	18,00	0,04							
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
EW mas _78	1961- 1990	x x x x	Innenputz	1,50	900,00	0,70		76,3	470,0	597,0	76,1	467,2	593,4
			Gasbeton(block/ -steine)	24,00	472,00 / 2000,00	k.A.	Gruhler et al., 2002, S. 129						
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
EW mas _79	1961- 1990	x x x x	Innenputz	1,50	900,00	0,70		87,9	639,9	792,3	86,0	611,8	761,6
			Hochlochziegel (75/25)	36,50	800,00 / 2000,00	0,35	Gruhler et al., 2002, S. 138						
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
EW mas _80	1991- 2000	x x	Innenputz	1,50	900,00	0,70		69,0	620,0	768,4	66,6	584,0	729,1
			Leichtlochlochziegel	36,50	800,00 / 2000,00	0,88- 1,23	Gruhler et al., 2002, S. 148						
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
EW mas _81	1961- 2000	x x x x x	Innenputz	1,50	900,00	0,70		76,3	470,0	597,0	76,1	467,2	593,4
			Gasbeton(block/ -steine)	24,00	472,00 / 2000,00	k.A.	Gruhler et al., 2002, S. 157, 177						
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							

EW mas _82	1961- 2000	x x x x x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Gruhler et al., 2002, S. 167, 187	87,9	639,9	792,3	86,0	611,8	761,6
			Hochlochziegel (75/25)	36,50	800,00 / 2000,00	0,35							
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
EW mas _83	1991- 2000	x x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Gruhler et al., 2002, S. 197	75,1	596,6	692,2	73,3	568,0	660,8
			Kalksandstein (95/5)	24,00	1800,00/ 2000,00	0,99							
			Polystyrolämmung Wand und Dach, EPS	6,00	18,00	0,04							
			Außenputz	0,50	1800,00	1,00							
EW mas _84	2002- 2009	x x x	Innenputz	1,00	900,00	0,70	Eigene Annahme auf Basis von Herstellere- recherchen	48,6	440,6	553,7	46,9	416,1	526,9
			Hochlochziegel (99,6/0,4)	24,00	575,00	0,08/ 0,09							
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
EW mas _85	2002- 2009	x	Innenputz	1,00	900,00	0,70	in Anlehnung an www.ks- original.de, KS- Ratio-Blocksteine	77,6	659,4	784,0	77,6	659,4	784,0
			Kalksandstein (99,2/0,8)	17,50	1800,00	0,99							
			Mineralwolle (Außenwand)	7,50	46,25	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							
EW mas _86	2010- 2020	x x	Innenputz	1,00	900,00	0,70	in Anlehnung an www.ks- original.de, KS- Ratio-Blocksteine	81,9	711,9	844,7	81,9	711,9	844,7
			Kalksandstein (99,2/0,8)	17,50	1800,00	0,99							
			Mineralwolle (Außenwand)	10,50	46,25	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							
EW mas _87	2002- 2020	x x x	Innenputz	1,00	900,00	0,70	Eigene Annahme auf Basis von Hersteller- recherchen	62,2	407,4	526,5	62,0	404,9	523,3
			Porenbeton P2 04 (99,2/0,8)	24,00	380,00	0,07/ 0,11							
			Außenputz	2,00	1759,00	1,00							
EW mas _88	2002- 2009	x	Stahlbeton C20/25 (99/1)	15,00	2400,00	2,30	Minimale Stb.- Wanddicke auf Grund der Betonierbarkeit (stehend) gewählt	67,7	569,3	709,8	64,5	527,9	654,4
			Mineralwolle (Außenwand)	8,00	46,25	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							
EW mas _89	2010- 2020	x x	Stahlbeton C20/25 (99/1)	15,00	2400,00	2,30	Minimale Stb.- Wanddicke auf Grund der Betonierbarkeit (stehend) gewählt	72,0	621,8	770,5	68,9	580,4	715,1
			Mineralwolle (Außenwand)	11,00	46,25	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							
EW 2shel- led _1	bis 1918	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 10; Minimaldicke	98,7	1088,1	1227,6	97,6	1072,6	1209,8
			Vollziegel	12,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Luftschrift, ruhend (30% einbindende Mauerziegel angenommen)	6,00	-	-							
			Vormauerziegel	12,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Außenputz	1,50	1800,00	0,87							
EW 2shel- led _2	bis 1918	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 10; Maximaldicke	100,3	1104,1	1246,7	99,1	1087,3	1227,6
			Vollziegel	12,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Luftschrift, ruhend (30% einbindende Mauerziegel angenommen)	10,00	-	-							
			Vormauerziegel	12,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Außenputz	1,50	1800,00	0,87							
EW 2shel- led _3	1919- 1948	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 13; Minimaldicke	98,7	1088,1	1227,6	97,6	1072,6	1209,8
			Vollziegel	12,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Luftschrift, ruhend (30% einbindende Mauerziegel angenommen)	6,00	-	-							
			Vormauerziegel	12,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Außenputz	1,50	1800,00	0,87							

A.2 Bilanzierte Altbaukonstruktionen

EW 2shel- led _4	1919- 1948	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	99,1	1092,1	1232,4	98,0	1076,3	1214,3	
			Vollziegel	12,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Luftschrift, ruhend (30% einbindende Mauerziegel angenommen)	7,00	-	-							ZUB, 2009b, S. 13; Maximaldicke
			Vormauerziegel	12,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Außenputz	1,50	1800,00	0,87							
EW 2shel- led _5	1949- 1957	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	77,1	444,5	566,5	76,1	430,9	549,0	
			Ziegelsplittbeton	11,50	1400,00	0,58							
			Luftschrift, ruhend (30% einbindende Ziegelsplittbeton- steine angenommen)	6,00	-	-							ZUB, 2009b, S. 17
			Ziegelsplittbeton	11,50	1400,00	0,58							
			Glattputz (Kalkzement)	1,50	1800,00	0,87							
EW 2shel- led _6	1949- 1957	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	106,3	697,0	820,3	106,3	697,0	820,3	
			Kalksandstein (75/25)	24,00	1800,00/ 2000,00	0,99							
			Luftschrift, ruhend (30% einbindende Kalksandsteine angenommen)	6,00	-	-							ZUB, 2009b, S. 18; Ausführung als Sichtmauerwerk
			Vormauerschale (Kalksand-Vollstein)	11,50	1800,00/ 2000,00	0,99							
			Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70							
EW 2shel- led _7	1949- 1957	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	134,7	882,3	1059,8	134,7	882,3	1059,8	
			Kalksandstein (75/25)	30,00	1800,00/ 2000,00	0,99							
			Luftschrift, ruhend (30% einbindende Kalksandsteine angenommen)	6,00	-	-							ZUB, 2009b, S. 18; Konstruktion mit Außenputz
			Vormauerschale (Kalksand-Vollstein)	11,50	1800,00/ 2000,00	0,99							
			Glattputz (Kalkzement)	1,50	1800,00	0,87							
EW 2shel- led _8	1958- 1968	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	95,2	1054,8	1172,0	93,8	1035,2	1149,8	
			Hochlochziegel (75/25)	17,50	1200,00/ 2000,00	0,52							
			Luftschrift, ruhend (30% einbindende Mauerziegel angenommen)	6,00	-	-							ZUB, 2009b, S. 19
			Vormauerziegel	11,50	1400,00/ 2000,00	0,60							
			Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70							
EW 2shel- led _9	1958- 1968	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	115,6	756,6	911,8	115,6	756,6	911,8	
			Kalksandstein (75/25)	24,00	1400,00/ 2000,00	0,70							
			Luftschrift, ruhend (30% einbindende Kalksandsteine angenommen)	3,00	-	-							ZUB, 2009b, S. 20
			Vormauerschale (Kalksand-Vollstein)	11,50	1400,00/ 2000,00	0,60							
			Glattputz (Kalkzement)	1,50	1800,00	0,87							
EW 2shel- led _10	1958- 1968	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	134,8	1213,5	1396,5	133,5	1195,6	1373,5	
			Ziegelsplittbeton	24,00	1200,00	0,58							
			Luftschrift, ruhend (30% einbindende Ziegelsplittbeton- steine angenommen)	3,00	-	-							ZUB, 2009b, S. 21
			Vormauerziegel	11,50	1400,00/ 2000,00	0,60							
			Glattputz (Kalkzement)	1,50	1800,00	0,87							
EW 2shel- led _11	1969- 1978	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	95,2	1054,8	1172,0	93,8	1035,2	1149,8	
			Hochlochziegel (75/25)	17,50	1200,00/ 2000,00	0,52							
			Luftschrift, ruhend (30% einbindende Mauerziegel angenommen)	6,00	-	-							ZUB, 2009b, S. 26; Minimaldicke
			Vormauerziegel	11,50	1400,00/ 2000,00	0,60							
			Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70							

EW 2shel- led _12	1969- 1978	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 26; Maximaldicke	107,5	1145,3	1280,5	105,8	1120,7	1252,8
			Hochlochziegel (75/25)	24,00	1200,00/ 2000,00	0,52							
			Luftschicht, ruhend (30% einbindende Mauerziegel angenommen)	6,00	-	-							
			Vormauerziegel	11,50	1400,00/ 2000,00	0,60							
EW 2shel- led _13	1969- 1978	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 27; Minimaldicke	103,2	1055,5	1180,2	102,7	1048,8	1171,6
			Porenbeton	17,50	600,00	0,23							
			Luftschicht, ruhend (30% einbindende Porenbetonsteine angenommen)	6,00	-	-							
			Vormauerziegel	11,50	1400,00/ 2000,00	0,60							
EW 2shel- led _14	1969- 1978	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 27; Maximaldicke	117,9	1145,9	1291,0	117,3	1138,3	1281,3
			Porenbeton	24,00	600,00	0,23							
			Luftschicht, ruhend (30% einbindende Porenbetonsteine angenommen)	6,00	-	-							
			Vormauerziegel	11,50	1400,00/ 2000,00	0,60							
EW 2shel- led _15	1969- 1978	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 28; Minimaldicke	95,2	1054,8	1172,0	93,8	1035,2	1149,8
			Hochlochziegel (75/25)	17,50	1200,00/ 2000,00	0,52							
			Luftschicht, ruhend (30% einbindende Mauerziegel angenommen)	6,00	-	-							
			Vormauerziegel	11,50	1400,00/ 2000,00	0,60							
EW 2shel- led _16	1969- 1978	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 28; Maximaldicke	107,5	1145,3	1280,5	105,8	1120,7	1252,8
			Hochlochziegel (75/25)	24,00	1200,00/ 2000,00	0,52							
			Luftschicht, ruhend (30% einbindende Mauerziegel angenommen)	6,00	-	-							
			Vormauerziegel	11,50	1400,00/ 2000,00	0,60							
EW 2shel- led _17	1919- 1948	x	Innenputz	1,00	900,00	1,00	ZUB, 2009b, S. 120	98,7	1088,1	1227,6	97,6	1072,6	1209,8
			Vollziegel	12,00	1800,00/ 2000,00	0,81							
			Luftschicht, ruhend (30% einbindende Mauerziegel angenommen)	6,00	-	0,18							
			Vormauerziegel	12,00	1800,00/ 2000,00	0,81							
EW 2shel- led _18	1919- 1948	x	Außenputz	1,50	1800,00	1,00	ZUB, 2009b, S. 121; Minimaldicke	98,7	1088,1	1227,6	97,6	1072,6	1209,8
			Innenputz	1,00	900,000	0,70							
			Vollziegel	12,00	1800,00/ 2000,00	0,68							
			Luftschicht, ruhend (30% einbindende Mauerziegel angenommen)	6,00	-	0,18							
EW 2shel- led _19	1919- 1948	x	Vormauerziegel	12,00	1800,00/ 2000,00	0,68	ZUB, 2009b, S. 121; Maximaldicke	109,2	1164,7	1319,4	107,8	1145,0	1297,0
			Außenputz	1,50	1800,00	0,87							
			Innenputz	1,00	900,00	0,70							
			Vollziegel	17,50	1800,00/ 2000,00	0,68							
EW 2shel- led _19	1919- 1948	x	Luftschicht, ruhend (30% einbindende Mauerziegel angenommen)	6,00	-	0,18	ZUB, 2009b, S. 121; Maximaldicke	109,2	1164,7	1319,4	107,8	1145,0	1297,0
			Vormauerziegel	12,00	1800,00/ 2000,00	0,68							
			Außenputz	1,50	1800,00	0,87							
			Innenputz	1,00	900,00	0,70							

A.2 Bilanzierte Altbaukonstruktionen

EW 2shel- led _20	bis 1978	x x x x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 155	50,4	381,8	457,0	49,0	361,1	434,5
			Vollziegel	12,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Luftschrift, ruhend (30% einbindende Mauerziegel angenommen)	7,00	-	0,18							
			Vollziegel	12,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
EW 2shel- led _21	1971- 1990	x x x	Normalbeton	15,00	2350,00	2,10	ZUB, 2009b, S. 160, 161, 163, 165	58,9	331,8	449,4	52,9	249,8	341,8
			Polystyrol dämmung, XPS (AW)	5,00	30,00	0,04							
			Schwerbeton	6,00	2350,00	2,10							
EW 2shel- led _22	1981- 1990	x x	Normalbeton	15,00	2350,00	2,10	ZUB, 2009b, S. 162	58,9	331,8	449,4	52,9	249,8	341,8
			Polystyrol dämmung, XPS (AW)	5,00	30,00	0,04							
			Schwerbeton	6,00	2350,00	2,10							
EW 2shel- led _23	1976- 1990	x x x	Normalbeton	15,00	2350,00	2,1	ZUB, 2009b, S. 164	58,9	331,8	449,4	52,9	249,8	341,8
			Polystyrol dämmung, XPS (AW)	5,00	30,00	0,04							
			Schwerbeton	6,00	2350,00	2,1							
EW 2shel- led _24	1949- 1994	x x x x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3)	15,00	2400,00	2,50	Gruhler et al., 2002, S. 91	68,2	632,4	818,9	63,5	567,2	737,5
			Polystyrol dämmung Wand und Dach, EPS	5,00	18,00	0,04							
			Leichtbeton	6,00	501,00/ 2000,00	501,00							
EW 2shel- led _25	1979- 1990	x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3)	15,00	2400,00	2,50	Gruhler et al., 2002, S. 100	68,2	632,4	818,9	63,5	567,2	737,5
			Polystyrol dämmung Wand und Dach, EPS	5,00	18,00	0,04							
			Leichtbeton	6,00	501,00/ 2000,00	501,00							
EW 2shel- led _26	1979- 1990	x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3)	19,00	2400,00	2,50	Gruhler et al., 2002, S. 109	85,2	806,5	1041,2	79,6	730,2	945,0
			Polystyrol dämmung Wand und Dach, EPS	5,00	18,00	0,04							
			Leichtbeton	6,00	501,00/ 2000,00	0,22							
			Fliesen	0,50	2000,00/ 1500,00	1,30							
EW 2shel- led _27	1979- 1990	x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3)	10,00	2400,00	2,50	Gruhler et al., 2002, S. 109	54,7	522,3	662,2	50,9	469,1	597,0
			Polystyrol dämmung Wand und Dach, EPS	5,00	18,00	0,04							
			Leichtbeton	6,00	501,00/ 2000,00	0,22							
			Sichtbeton	0,50	2400,00	2,50							
			Fliesen	0,25	2000,00/ 1500,00	1,30							
EW cwf _1	1969- 1978	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 29; Minimaldicke und Fassade mit Holzverschalung; Annahme: mit Holzwoll- dämmung, da maximale Umweltwirkungen	63,8	452,4	705,5	41,3	161,7	732,2
			Kalksandstein (75/25)	17,50	1400,00/ 2000,00	0,70							
			Dämmung AW (Holzwolle-VF)	3,00	30,00 - 200,00	0,04							
			Lattung	0,30	484,51	-							
			Luftschrift, stark belüftet	-	-	-							
			Vorhangfassade (Holzverschalung, lackiert)	2,40	500,00	-							
EW cwf _2	1969- 1978	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 29; Maximaldicke und Fassade mit Holzverschalung; Annahme: mit Holzwoll- dämmung, da maximale Umweltwirkungen	82,0	570,2	844,2	59,5	279,5	870,9
			Kalksandstein (75/25)	24,00	1400,00/ 2000,00	0,70							
			Dämmung AW (Holzwolle-VF)	3,00	30,00 - 200,00	0,04							
			Lattung	0,30	484,51	-							
			Luftschrift, stark belüftet	-	-	-							
			Vorhangfassade (Holzverschalung, lackiert)	2,40	500,00	-							

EW cwf _3	1969- 1978	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 29;	114,5	1159,4	1477,3	110,0	1108,0	1434,8
			Kalksandstein (75/25)	17,50	1400,00/ 2000,00	0,70	Minimaldicke und Fassade mit Faserzement- platten; Annahme: mit Holzwoll- dämmung, da maximale Umweltwirkungen						
			Dämmung AW (Holzwolle-VF)	3,00	30,00 - 200,00	0,04							
			Lattung	0,30	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,50	1300,00	-							
EW cwf _4	1969- 1978	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 29;	132,8	1277,2	1616,0	128,2	1225,8	1573,5
			Kalksandstein (75/25)	24,00	1400,00/ 2000,00	0,70	Maximaldicke und Fassade mit Faserzement- platten; Annahme: mit Holzwoll- dämmung, da maximale Umweltwirkungen						
			Dämmung AW (Holzwolle-VF)	3,00	30,00 - 200,00	0,04							
			Lattung	0,30	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,50	1300,00	-							
EW cwf _5	1969- 1978	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 30; Fassade mit Holzverschalung;	47,0	314,9	575,4	19,9	-32,6	526,7
			Ortbeton	16,00	2400,00	1,51	Annahme: mit Holzwoll- dämmung, da maximale Umweltwirkungen						
			Dämmung AW (Holzwolle-VF)	4,00	30,00 - 200,00	0,04							
			Lattung	0,30	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Vorhangfassade (Holzverschalung, lackiert)	2,40	500,00	-							
EW cwf _6	1969- 1978	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 30; Fassade mit Faserzement- platten;	113,2	1153,3	1497,9	107,5	1089,7	1439,8
			Kalksandstein (75/25)	16,00	1400,00/ 2000,00	1,51	Annahme: mit Holzwoll- dämmung, da maximale Umweltwirkungen						
			Dämmung AW (Holzwolle-VF)	4,00	30,00 - 200,00	0,04							
			Lattung	0,30	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,50	1300,00	-							
EW cwf _7	1969- 1978	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 94; Fassade mit Laubholz, natur; Annahme: mit Holzvoll- dämmung, da maximale Umweltwirkungen	71,3	554,6	1176,4	37,5	109,0	1237,4
			Hochlochziegel (75/25)	30,00	1200,00/ 2000,00	0,52							
			Dämmung AW (Holzwolle-VF)	2,00	30,00 - 200,00	0,04							
			Lattung	0,30	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Vorhangfassade (Annahme: Laubholz, natur)	2,40	761,60	-							
EW cwf _8	bis 1918	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 149; Gemäß Abbildung Fassade mit Laubholz, jedoch naturbelassen statt mit Anstrich wie dargestellt	72,8	639,0	1171,7	41,1	219,5	1261,8
			Naturstein- mauerwerk	40,00	2600,00/ 2000,00	2,33							
			Lattung	0,30	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Vorhangfassade (Annahme: Laubholz, natur)	2,40	761,60	-							
EW cwf _9	2002- 2020	x x x	Innenputz	2,00	900,00	0,70	Eigene Annahme auf Basis der vorhandenen Konstruktionen und Hersteller- recherchen (Wienerberger, Schlagmann POROTON S-8)	102,1	1209,3	1433,9	98,2	1153,6	1399,0
			Hochlochziegel, Dämmstoff gefüllt (99,6/0,4)	36,50	575,00	0,10							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
			Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-							
EW cwf _10	2002- 2009	x	Innenputz	2,00	900,00	0,70	Eigene Annahme auf Basis der vorhandenen Konstruktionen und Hersteller- recherchen (KS Original, max. Steindicke 240 mm)	117,3	1182,3	1711,9	104,6	981,8	1555,6
			Kalksandstein (95/5)	24,00	1800,00	0,99							
			Holzfaserdämm- platte (VF)	8,59	160,00	0,04							
			Lattung	0,91	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
			Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-							

A.2 Bilanzierte Altbaukonstruktionen

EW cwf _11	2010- 2015	x	Innenputz	2,00	900,00	0,70	Eigene Annahme auf Basis der vorhandenen Konstruktionen und Herstellerre- cherchen (KS Original, max. Steindicke 240 mm)	123,1	1251,3	1920,5	105,7	976,1	1698,2
			Kalksandstein (95/5)	24,00	1800,00	0,99							
			Holzfaserdämm- platte (VF)	12,20	160,00	0,04							
			Lattung	1,30	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-										
EWcwf _12	2016- 2020	x	Innenputz	2,00	900,00	0,70	Eigene Annahme auf Basis der vorhandenen Konstruktionen und Herstellerre- cherchen (KS Original, max. Steindicke 240 mm)	124,5	1268,6	1972,6	106,0	974,7	1733,9
			Kalksandstein (95/5)	24,00	1800,00	0,99							
			Holzfaserdämm- platte (VF)	13,11	160,00	0,04							
			Lattung	1,39	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-										
EW cwf _13	2002- 2020	x x x	Innenputz	2,00	900,00	0,70	Eigene Annahme auf Basis der vorhandenen Konstruktionen und Herstellerre- cherchen (YTONG Porenbeton)	125,9	1058,0	1291,8	124,2	1034,8	1291,5
			Porenbeton P4 05 (95/5)	36,50	380,00	0,07/ 0,11							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
			Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-							
EW cwf _14	2002- 2009	x	Innenputz	2,00	900,00	0,70	Eigene Annahme auf Basis der vorhandenen Konstruktionen; Annahme: 30 cm Stb. als maximale Wandstärke bei mehrgeschos- sigen Gebäuden	155,0	1502,5	2216,6	135,4	1210,7	1942,3
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	30,00	380,00	2,50							
			Holzfaserdämm- platte (VF)	9,04	160,00	0,04							
			Lattung	0,96	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-										
EW cwf _15	2010- 2015	x	Innenputz	2,00	900,00	0,70	Eigene Annahme auf Basis der vorhandenen Konstruktionen; Annahme: 30 cm Stb. als maximale Wandstärke bei mehrgeschos- sigen Gebäuden	160,7	1571,5	2425,1	136,5	1205,0	2085,0
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	30,00	380,00	2,50							
			Holzfaserdämm- platte (VF)	12,66	160,00	0,04							
			Lattung	1,34	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-										
EW cwf _16	2016- 2020	x	Innenputz	2,00	900,00	0,70	Eigene Annahme auf Basis der vorhandenen Konstruktionen; Annahme: 30 cm Stb. als maximale Wandstärke bei mehrgeschos- sigen Gebäuden	162,2	1588,8	2477,3	136,8	1203,5	2120,6
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	30,00	380,00	2,50							
			Holzfaserdämm- platte (VF)	13,56	160,00	0,04							
			Lattung	1,44	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-										
EW wood _1	bis 1918	x	Lehmputz innen	1,50	900,00	0,93	ZUB, 2009b, S. 12	0,8	83,7	250,7	-15,3	-132,6	308,8
			Holzständer (Eiche)/Gefach: Lehmstaken	14,00	492,92/ 2000,00/ 100,00	0,21/ 0,47							
EW wood _2	bis 1918	x	Lehmputz innen	1,50	900,00	0,93	ZUB, 2009b, S. 82; Minimaldicke	16,3	282,5	481,2	1,3	81,3	534,3
			Holzständer (Eiche)/Gefach: Lehmstaken	12,00	492,92/ 2000,00/ 100,00	0,21/ 0,47							
			Lattung	0,30	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Schieferverkleidung	1,10	-	-							

EW wood _3	bis 1918	x	Lehmputz innen	1,50	900,00	0,93	ZUB, 2009b, S. 82; Maximaldicke	16,1	302,2	547,7	-3,4	39,3	617,6
			Holzständer (Eiche)/Gefach: Lehmstaken	16,00	492,92/2000,00/100,00	0,21/0,47							
EW wood _4	bis 1918	x	Lattung Luftschicht, stark belüftet	0,30	484,51	-	ZUB, 2009b, S. 83; Minimaldicke	3,3	98,9	247,4	-10,6	-87,9	295,4
			Schieferverkleidung	1,10	-	-							
EW wood _5	bis 1918	x	Lehmputz innen	1,00	900,00	0,93	ZUB, 2009b, S. 84; Gruhler et al., 2002; Maximaldicke	3,1	118,5	313,9	-15,4	-129,9	378,8
			Holzständer (Eiche)/Gefach: Lehmstaken	16,00	492,92/2000,00/100,00	0,21/0,47							
EW wood _6	bis 1918	x	Lehmputz außen	1,50	900,00	0,93	ZUB, 2009b, S. 84; Gruhler et al., 2002; Minimaldicke	3,1	118,5	313,9	-15,4	-129,9	378,8
			Lehmputz innen	1,00	900,00	0,93							
EW wood _7	bis 1918	x	Holzständer (Eiche)/Gefach: Ziegel	16,00	492,92/1800,00/2000,00	0,21/0,79	ZUB, 2009b, S. 84; Gruhler et al., 2002; Maximaldicke	31,4	259,0	365,2	19,7	100,2	393,4
			Lehmputz außen	1,50	900,00	0,93							
EW wood _8	bis 1918	x	Lehmputz innen	1,00	900,00	0,93	ZUB, 2009b, S. 84; Gruhler et al., 2002; Maximaldicke	46,9	382,1	543,6	28,7	135,3	589,1
			Holzständer (Eiche)/Gefach: Lehmstaken	25,00	492,92/1800,00/2000,00	0,21/0,79							
EW wood _9	bis 1918	x	Lehmputz außen	1,50	900,00	0,93	ZUB, 2009b, S. 116; Minimaldicke	5,1	128,8	304,7	-11,1	-90,0	359,8
			Lehmputz innen	3,00	900,00	0,73							
EW wood _10	bis 1918	x	Holzständer (Eiche)/Gefach: Lehmstaken	16,00	492,92/1800,00/2000,00	0,18/0,70	ZUB, 2009b, S. 117; Minimaldicke	5,0	138,6	337,9	-13,5	-111,0	401,5
			Lehmputz außen	1,50	900,00	0,93							
EW wood _11	bis 1918	x	Lehmputz innen	3,00	900,00	0,73	ZUB, 2009b, S. 117; Minimaldicke	27,2	277,4	359,8	17,3	143,9	390,3
			Holzständer (Eiche)/Gefach: Lehmstein	14,00	492,92/1800,00/2000,00	0,18/0,73							
EW wood _12	bis 1918	x	Lehmputz außen	1,50	900,00	0,93	ZUB, 2009b, S. 118; Gruhler et al., 2002; Maximaldicke	30,3	308,5	400,9	19,0	156,4	436,3
			Lehmputz innen	3,00	900,00	0,73							
EW wood _13	bis 1918	x	Holzständer (Eiche)/Gefach: Ziegel	14,00	492,92/1800,00/2000,00	0,18/0,91	ZUB, 2009b, S. 118; Gruhler et al., 2002; Maximaldicke	29,9	251,7	349,6	19,5	111,4	372,5
			Lehmputz außen	1,50	900,00	0,93							
EW wood _14	bis 1918	x	Lehmputz innen	3,00	900,00	0,73	ZUB, 2009b, S. 151	33,3	279,0	389,2	21,5	119,2	416,0
			Holzständer (Eiche)/Gefach: Ziegel	16,00	492,92/1800,00/2000,00	0,18/0,91							
EW wood _15	bis 1918	x	Lehmputz innen	1,50	900,00	0,93	ZUB, 2009b, S. 152; Gemäß Abbildung Fassade mit Laubholz, jedoch naturbelassen statt mit Anstrich wie dargestellt	0,8	83,7	250,7	-15,3	-132,6	308,8
			Holzständer (Eiche)/Gefach: Lehmstaken	14,00	492,92/1800,00/2000,00	0,21/0,47							
EW wood _15	bis 1918	x	Lattung Luftschicht, stark belüftet	0,30	484,51	-	ZUB, 2009b, S. 152; Gemäß Abbildung Fassade mit Laubholz, jedoch naturbelassen statt mit Anstrich wie dargestellt	7,2	158,6	798,0	-38,9	-455,8	973,7
			Vorhangsfassade (Annahme: Laubholz, natur)	2,40	761,60	-							

A.2 Bilanzierte Altbaukonstruktionen

EW wood _16	bis 1918	x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Gruhler et al., 2002, S. 31	63,9	476,8	638,0	54,5	349,4	650,2
			Holzständer/ Vollziegel/ Mörtel	12,00	492,92/ 1800,00/ 2000,00	0,13/ 0,79							
			Ziegel/Mörtel	13,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
EW wood _17	1979-1990	x x	Asbestzementplatte	0,60	1300,00	k.A.	Gruhler et al., 2002, S. 109	13,2	356,6	428,6	10,6	275,1	416,8
			Mineralwolle (Innenausbau)	5,20	85,00	0,04							
			Bitumenbahn	0,30	1000,00	-							
			Hartfaserplatte	1,00	849,90	k.A.							
EW wood _18	2002-2009	x	GKF-Platte	1,25	800,00	0,25	dataholz.eu, 2021, Bauteil awrhho04a-06, jedoch U-Wert= 0,30 statt 0,27	19,7	243,6	905,3	-22,3	-317,9	972,2
			PE-Folie Wand	0,02	930,00	-							
			Zellulosefaser-Einblasdämmung	13,08	45,00	0,04							
			Konstruktionsvollholz	1,92	492,92	0,13							
			Gipsfaserplatte	1,25	1000,00	0,35							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
EW wood _19	2010-2020	x x	Vorhangfassade (Annahme: Laubholz, natur)	2,40	761,60	-	dataholz.eu, 2021, Bauteil awrhho04a-06, jedoch U-Wert =0,20 statt 0,27	22,9	265,6	1018,0	-25,9	-387,4	1059,1
			GKF-Platte	1,25	800,00	0,25							
			PE-Folie Wand	0,02	930,00	-							
			Zellulosefaser-Einblasdämmung	20,93	45,00	0,04							
			Konstruktionsvollholz	3,07	492,92	0,13							
			Gipsfaserplatte	1,25	1000,00	0,35							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
EW wood _20	2002-2009	x	Konterlattung	0,38	484,51	-	dataholz.eu, 2021, Bauteil awrhhi08b-04, jedoch U-Wert= 0,30 statt 0,16 und Holzfaserdämmung statt Mineralwolle	78,8	1122,0	1818,3	54,1	707,2	1619,3
			Vorhangfassade (Faserzementplatten)	1,00	1300,00	-							
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
			Lattung	0,38	484,51	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	0,90	160,00	0,04							
			Luftschicht	2,71	-	0,163							
			PE-Folie Wand	0,02	930,00	-							
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	10,46	160,00	0,04							
			Konstruktionsvollholz	1,54	492,92	0,13							
EW wood _21	2010-2020	x x	Gipsfaserplatte	2,00	1000,00	0,35	dataholz.eu, 2021, Bauteil awrhhi08b-04, jedoch U-Wert= 0,20 statt 0,16 und Holzfaserdämmung statt Mineralwolle	93,2	1294,4	2331,9	57,2	698,4	1971,7
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
			Vorhangfassade (Faserzementplatten)	1,00	1300,00	-							
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
			Lattung	0,38	484,51	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	3,62	160,00	0,04							
			PE-Folie Wand	0,02	930,00	-							
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	16,57	160,00	0,04							
EW wood _22	2002-2009	x	Konstruktionsvollholz	2,43	492,92	0,13	dataholz.eu, 2021, Bauteil awmopo01a-01, jedoch U-Wert= 0,30 statt 0,23 und BSH-Dicke von 90 mm zur Erfüllung statischer Anforderungen	48,7	549,6	839,5	17,1	70,4	937,7
			Gipsfaserplatte	2,00	1000,00	0,35							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
			Vorhangfassade (Faserzementplatten)	1,00	1300,00	-							
EW wood _22	2002-2009	x	Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	dataholz.eu, 2021, Bauteil awmopo01a-01, jedoch U-Wert= 0,30 statt 0,23 und BSH-Dicke von 90 mm zur Erfüllung statischer Anforderungen	48,7	549,6	839,5	17,1	70,4	937,7
			Lattung	0,38	484,51	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	3,62	160,00	0,04							
			PE-Folie Wand	0,02	930,00	-							
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
EW wood _22	2002-2009	x	Holzfaserdämmung (Innenausbau)	16,57	160,00	0,04	dataholz.eu, 2021, Bauteil awmopo01a-01, jedoch U-Wert= 0,30 statt 0,23 und BSH-Dicke von 90 mm zur Erfüllung statischer Anforderungen	48,7	549,6	839,5	17,1	70,4	937,7
			Konstruktionsvollholz	2,43	492,92	0,13							
			Gipsfaserplatte	2,00	1000,00	0,35							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
EW wood _22	2002-2009	x	Vorhangfassade (Faserzementplatten)	1,00	1300,00	-	dataholz.eu, 2021, Bauteil awmopo01a-01, jedoch U-Wert= 0,30 statt 0,23 und BSH-Dicke von 90 mm zur Erfüllung statischer Anforderungen	48,7	549,6	839,5	17,1	70,4	937,7
			GKF-Platte	1,25	800,00	0,25							
			Brettspertholz	9,00	489,41	0,13							
			Mineralwolle (Außenwand)	8,50	46,25	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							

EW wood _23	2010- 2020	x x	GKF-Platte	1,25	800,00	0,25	dataholz.eu, 2021, Bauteil	56,7	645,9	950,8	25,1	166,7	1048,9
			Brettsper Holz Mineralwolle (Außenwand) WDVS Verklebung und Beschichtung	9,00 14,00 2,00	489,41 46,25 1759,00	- 0,04 1,00	awmopo01a-01, jedoch U-Wert= 0,30 statt 0,23 und BSH-Dicke von 90 mm zur Erfüllung statischer Anforderungen						
EW wood _24	2002- 2009	x	Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	dataholz.eu, 2021, Bauteil	94,9	1305,5	2233,1	3,3	-88,7	2412,7
			Brettsper Holz	24,00	489,41	0,13	awmohi02a-06, jedoch mit doppelter						
			Lattung	0,48	484,51	0,13	Gipsfaserbe- plankung,						
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	4,52	160,00	0,04	Vorhangfassade aus						
			Gipsfaserplatte	1,25	1000,00	0,35	Faserzementplat- ten und						
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-	Holzfaserdäm- mung auch in der Installations- ebene; zudem						
			Konterlattung Vorhangfassade (Faserzement- platten)	0,38 1,00	484,51 1300,00	- -	wird die maximale Standarddicke von BSH angenommen						
EW wood _25	2010- 2020	x x	Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	dataholz.eu, 2021, Bauteil	106,5	1443,6	2650,2	5,5	-100,2	2698,0
			Lattung	0,38	484,51	0,13	awmohi02a-06, jedoch mit doppelter						
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	3,62	160,00	0,04	Gipsfaserbe- plankung,						
			Brettsper Holz	24,00	489,41	0,13	Vorhangfassade aus Faser- zementplatten						
			Lattung	0,86	484,51	0,13	und Holzfaser- dämmung auch in der Installations- ebene; zudem						
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	8,14	160,00	0,04	wird die maximale Standarddicke von BSH angenommen						
			Gipsfaserplatte	1,25	1000,00	0,35							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
Konterlattung Vorhangfassade (Faserzement- platten)	0,38 1,00	484,51 1300,00	- -										
SW mas _1	bis 1918	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 8;	25,9	193,7	231,6	25,2	184,1	221,1
			Vollziegel	12,50	1800,00/ 2000,00	-	Minimaldicke						
SW mas _2	bis 1919	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 8;	50,6	374,8	448,6	49,2	355,1	427,2
			Vollziegel	25,50	1800,00/ 2000,00	-	Maximaldicke						
SW mas _3	bis 1920	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 11;	21,1	158,9	189,9	20,6	151,2	181,5
			Vollziegel	10,00	1800,00/ 2000,00	-	Minimaldicke						
SW mas _4	bis 1921	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 11;	38,2	284,2	340,1	37,2	269,6	324,1
			Vollziegel	19,00	1800,00/ 2000,00	-	Maximaldicke						
SW mas _5	1949- 1957	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 14;	24,9	186,8	223,3	24,3	177,5	213,2
			Vollziegel	12,00	1800,00/ 2000,00	-	Minimaldicke						
SW mas _6	1949- 1957	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 14;	24,9	186,8	223,3	24,3	177,5	213,2
			Hochlochziegel (75/25)	12,00	1400,00/ 2000,00	-	Maximaldicke						
SW mas _7	1949- 1957	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 15	32,8	188,2	232,1	32,3	181,6	223,6
			Ziegelsplittbeton	12,00	1400,00	-							
SW mas _8	1949- 1957	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 16;	35,8	237,1	279,1	35,8	237,1	279,1
			Kalksandstein (75/25)	12,00	1400,00/ 2000,00	-	Minimaldicke						
SW mas _9	1949- 1957	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 16;	44,2	291,5	343,1	44,2	291,5	343,1
			Kalksandstein (75/25)	15,00	1400,00/ 2000,00	-	Maximaldicke						
SW mas _10	1958- 1968	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 23	44,2	291,5	343,1	44,2	291,5	343,1
			Kalksandstein (75/25)	15,00	1400,00/ 2000,00	-							
SW mas _11	1958- 1968	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 24	40,5	230,3	284,3	39,9	222,1	273,7
			Ziegelsplittbeton	15,00	1400,00	-							

A.2 Bilanzierte Altbaukonstruktionen

SW mas _12	1949- 1978	x x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 58;	21,0	119,3	143,5	20,8	117,1	140,7
			Bimshohlblockstein	12,00	1400,00/ 2000,00	-	Minimaldicke						
SW mas _13	1949- 1978	x x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 58;	32,0	177,4	213,8	31,7	173,9	209,3
			Bimshohlblockstein	19,00	1400,00/ 2000,00	-	Maximaldicke						
SW mas _14	1949- 1968	x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 59;	24,9	186,8	223,3	24,3	177,5	213,2
			Vollziegel	12,00	1800,00/ 2000,00	-	Minimaldicke						
SW mas _15	1949- 1968	x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 59;	30,6	228,5	273,4	29,8	217,0	260,7
			Vollziegel	15,00	1800,00/ 2000,00	-	Maximaldicke						
SW mas _16	1949- 1978	x x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 60;	24,9	186,8	223,3	24,3	177,5	213,2
			Hochlochziegel (75/25)	12,00	1400,00/ 2000,00	-	Minimaldicke						
SW mas _17	1949- 1978	x x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 60;	36,3	270,3	323,4	35,4	256,5	308,3
			Hochlochziegel (75/25)	18,00	1400,00/ 2000,00	-	Maximaldicke						
SW mas _18	1969- 1978	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 61;	24,9	186,8	223,3	24,3	177,5	213,2
			Hochlochziegel (75/25)	12,00	1400,00/ 2000,00	-	Minimaldicke						
SW mas _19	1969- 1978	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 61;	30,6	228,5	273,4	29,8	217,0	260,7
			Hochlochziegel (75/25)	15,00	1400,00/ 2000,00	-	Maximaldicke						
SW mas _20	1949- 1968	x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 62;	21,0	119,3	143,5	20,8	117,1	140,7
			Bimsvollsteine	12,00	1200,00/ 2000,00	-	Minimaldicke						
SW mas _21	1949- 1969	x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 62;	25,7	144,2	173,6	25,5	141,4	170,1
			Bimsvollsteine	15,00	1200,00/ 2000,00	-	Maximaldicke						
SW mas _22	1949- 1978	x x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 63;	30,6	228,5	273,4	29,8	217,0	260,7
			Hochlochziegel (75/25)	15,00	1200,00/ 2000,00	-	Minimaldicke Ziegel						
SW mas _23	1949- 1978	x x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 63;	36,3	270,3	323,4	35,4	256,5	308,3
			Hochlochziegel (75/25)	18,00	1200,00/ 2000,00	-	Maximaldicke Ziegel						
SW mas _24	1949- 1978	x x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 63;	38,2	231,2	281,7	38,1	229,4	279,4
			Gasbeton(block/ -steine)	15,00	624,80	-	Minimaldicke Gasbeton						
SW mas _25	1949- 1978	x x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 63;	45,4	273,5	333,4	45,3	271,4	330,7
			Gasbeton(block/ -steine)	18,00	624,80	-	Maximaldicke Gasbeton						
SW mas _26	1949- 1978	x x x	Innenputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 65;	35,8	237,1	279,1	35,8	237,1	279,1
			Kalksandstein (75/25)	12,00	1400,00/ 2000,00	-	Minimaldicke						
SW mas _27	1949- 1978	x x x	Innenputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 65;	35,8	237,1	279,1	35,8	237,1	279,1
			Kalksandstein (75/25)	12,00	1400,00/ 2000,00	-	Maximaldicke						
SW mas _28	bis 1918	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 85, 86;	25,9	193,7	231,6	25,2	184,1	221,1
			Vollziegel	12,50	1800,00/ 2000,00	-	Minimaldicke						
SW mas _29	bis 1918	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 85, 86;	50,6	374,8	448,6	49,2	355,1	427,2
			Vollziegel	25,50	1800,00/ 2000,00	-	Maximaldicke						
SW mas _30	1919- 1948	x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 87, 88;	25,9	193,7	231,6	25,2	184,1	221,1
			Vollziegel	12,50	1800,00/ 2000,00	-	Minimaldicke						
SW mas _31	1919- 1948	x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 87, 88;	38,2	284,2	340,1	37,2	269,6	324,1
			Vollziegel	19,00	1800,00/ 2000,00	-	Maximaldicke						
SW mas _32	1919- 1948	x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 89, 90;	21,8	123,4	148,5	21,6	121,1	145,6
			Bimshohlblockstein	12,50	1400,00/ 2000,00	-	Minimaldicke						
SW mas _33	1919- 1948	x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 89, 90;	32,0	177,4	213,8	31,7	173,9	209,3
			Bimshohlblockstein	19,00	1400,00/ 2000,00	-	Maximaldicke						
SW mas _34	1949- 1968	x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 91;	21,0	119,3	143,5	20,8	117,1	140,7
			Bimshohlblockstein	12,00	1400,00/ 2000,00	-	Minimaldicke						
SW mas _35	1949- 1968	x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 91;	30,8	171,2	206,3	30,5	167,8	201,9
			Bimshohlblockstein	18,25	1400,00/ 2000,00	-	Maximaldicke						
SW mas _36	1958- 1968	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 92;	24,9	186,8	223,3	24,3	177,5	213,2
			Hochlochziegel (75/25)	12,00	1200,00/ 2000,00	-	Minimaldicke						

SW mas _37	1958- 1968	x	Kalkgipsputz Hochlochziegel (75/25)	1,00 15,00	900,00 1200,00/ 2000,00	- -	ZUB, 2009b, S. 92; Maximaldicke	30,6 228,5 273,4	29,8 217,0 260,7
SW mas _38	1969- 1978	x	Kalkgipsputz Hochlochziegel (75/25)	1,00 12,00	900,00 1400,00/ 2000,00	- -	ZUB, 2009b, S. 93; Minimaldicke	24,9 186,8 223,3	24,3 177,5 213,2
SW mas _39	1969- 1978	x	Kalkgipsputz Hochlochziegel (75/25)	1,00 15,00	900,00 1400,00/ 2000,00	- -	ZUB, 2009b, S. 93; Maximaldicke	30,6 228,5 273,4	29,8 217,0 260,7
SW mas _40	1919- 1948	x	Innenputz Vollziegel	1,00 12,00	900,00 1800,00/ 2000,00	- -	ZUB, 2009b, S. 119; Minimaldicke mit Putz	24,9 186,8 223,3	24,3 177,5 213,2
SW mas _41	1919- 1948	x	Innenputz Vollziegel	1,00 15,00	900,00 1800,00/ 2000,00	- -	ZUB, 2009b, S. 119; Maximaldicke mit Putz	30,6 228,5 273,4	29,8 217,0 260,7
SW mas _42	1919- 1948	x	Vollziegel	12,00	1800,00/ 2000,00	-	ZUB, 2009b, S. 119; Minimaldicke ohne Putz	22,8 167,1 200,3	22,2 157,9 190,2
SW mas _43	1919- 1948	x	Vollziegel	15,00	1800,00/ 2000,00	-	ZUB, 2009b, S. 119; Maximaldicke ohne Putz	28,5 208,9 250,4	27,7 197,3 237,7
SW mas _44	1949- 1968	x x	Innenputz Hochlochziegel (75/25)	1,00 12,00	900,00 1400,00/ 2000,00	- -	ZUB, 2009b, S. 122; Minimaldicke	24,9 186,8 223,3	24,3 177,5 213,2
SW mas _45	1949- 1968	x x	Innenputz Hochlochziegel (75/25)	1,00 18,25	900,00 1400,00/ 2000,00	- -	ZUB, 2009b, S. 122; Maximaldicke	36,8 273,8 327,6	35,8 259,8 312,3
SW mas _46	1969- 1994	x x x	Innenputz Hochlochziegel (75/25)	1,00 12,00	900,00 800,00/ 2000,00	- -	ZUB, 2009b, S. 123; Minimaldicke	24,9 186,8 223,3	24,3 177,5 213,2
SW mas _47	1969- 1994	x x x	Innenputz Hochlochziegel (75/25)	1,00 18,25	900,00 800,00/ 2000,00	- -	ZUB, 2009b, S. 123; Maximaldicke	36,8 273,8 327,6	35,8 259,8 312,3
SW mas _48	1969- 1978	x	Kalkgipsputz Kalksandstein (75/25)	1,00 12,00	900,00 1400,00/ 2000,00	- -	ZUB, 2009b, S. 124; Minimaldicke	35,8 237,1 279,1	35,8 237,1 279,1
SW mas _49	1969- 1978	x	Kalkgipsputz Kalksandstein (75/25)	1,00 15,00	900,00 1400,00/ 2000,00	- -	ZUB, 2009b, S. 124; Maximaldicke	44,2 291,5 343,1	44,2 291,5 343,1
SW mas _50	1969- 1978	x	Kalkgipsputz Kalksandstein (75/25)	1,00 12,00	900,00 1800,00/ 2000,00	- -	ZUB, 2009b, S. 125; Minimaldicke	35,8 237,1 279,1	35,8 237,1 279,1
SW mas _51	1969- 1978	x	Kalkgipsputz Kalksandstein (75/25)	1,00 15,00	900,00 1800,00/ 2000,00	- -	ZUB, 2009b, S. 125; Maximaldicke	44,2 291,5 343,1	44,2 291,5 343,1
SW mas _52	1949- 1968	x x	Kalkgipsputz Hohlblockstein (90/10)	1,00 12,00	900,00 1000,00/ 2000,00	- -	ZUB, 2009b, S. 126; Minimaldicke	25,6 220,7 268,7	25,5 219,2 266,8
SW mas _53	1949- 1968	x x	Kalkgipsputz Hohlblockstein (90/10)	1,00 15,00	900,00 1000,00/ 2000,00	- -	ZUB, 2009b, S. 126; Maximaldicke	31,4 271,0 330,1	31,3 269,1 327,7
SW mas _54	bis 1918	x	Kalkgipsputz Naturstein- mauerwerk	1,00 20,00	900,00 2600,00/ 2000,00	- -	ZUB, 2009b, S. 148	34,2 291,9 323,7	33,4 281,2 310,0
SW mas _55	bis 1968	x x x x	Kalkgipsputz Vollziegel	1,00 12,50	900,00 1800,00/ 2000,00	- -	ZUB, 2009b, S. 153; Minimaldicke	25,9 193,7 231,6	25,2 184,1 221,1
SW mas _56	bis 1968	x x x x	Kalkgipsputz Vollziegel	1,00 25,50	900,00 1800,00/ 2000,00	- -	ZUB, 2009b, S. 153; Maximaldicke	50,6 374,8 448,6	49,2 355,1 427,2
SW mas _57	bis 1918	x	Kalkgipsputz Vollziegel	1,00 25,50	900,00 1800,00/ 2000,00	- -	ZUB, 2009b, S. 154	50,6 374,8 448,6	49,2 355,1 427,2
SW mas _58	1919- 1948	x	Kalkgipsputz Hochlochziegel (75/25)	1,00 15,00	900,00 1400,00/ 2000,00	- -	ZUB, 2009b, S. 156	30,6 228,5 273,4	29,8 217,0 260,7
SW mas _59	1949- 1994	x x x x x	Innenputz Hohlblockstein (90/10)	1,00 12,00	900,00 1400,00/ 2000,00	- -	ZUB, 2009b, S. 157; Minimaldicke	25,6 220,7 268,7	25,5 219,2 266,8
SW mas _60	1949- 1994	x x x x x	Innenputz Hohlblockstein (90/10)	1,00 15,00	900,00 1400,00/ 2000,00	- -	ZUB, 2009b, S. 157; Maximaldicke	31,4 271,0 330,1	31,3 269,1 327,7
SW mas _61	1969- 1994	x x x	Innenputz Gasbeton(block/ -steine)	1,00 12,00	900,00 472,00/ 2000,00	- -	ZUB, 2009b, S. 158	31,0 188,9 229,9	30,9 187,5 228,1

A.2 Bilanzierte Altbaukonstruktionen

SW mas _62	bis 1918	x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 31;	39,3	294,1	351,6	38,3	279,5	335,6
			Vollziegel/Mörtel	19,00	1800,00/ 2000,00	-	Durchschnitts- dicke						
SW mas _63	1870- 1918	x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 41;	34,3	257,2	307,4	33,4	244,6	293,6
			Vollziegel/Mörtel	16,35	1800,00/ 2000,00	-	Durchschnitts- dicke						
SW mas _64	1870- 1918	x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 51;	36,2	271,5	324,6	35,3	258,1	310,0
			Vollziegel/Mörtel	17,38	1800,00/ 2000,00	-	Durchschnitts- dicke						
SW mas _65	1919- 1945	x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 61;	37,1	278,1	332,4	36,2	264,3	317,4
			Vollziegel/Mörtel	17,85	1800,00/ 2000,00	-	Durchschnitts- dicke						
SW mas _66	1919- 1945	x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 61;	14,6	113,0	134,6	14,3	108,4	129,6
			Vollziegel/Mörtel	6,00	1800,00/ 2000,00	-	Durchschnitts- dicke						
SW mas _67	1949- 1978	x x x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 71;	37,9	283,6	339,1	36,9	269,6	323,8
			Vollziegel/Mörtel	18,25	1800,00/ 2000,00	-	Durchschnitts- dicke						
SW mas _68	1949- 1978	x x x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 71;	16,6	127,7	152,2	16,2	122,2	146,2
			Vollziegel/Mörtel	7,05	1800,00/ 2000,00	-	Durchschnitts- dicke						
SW mas _69	1958- 1978	x x x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 81	29,8	293,2	398,9	28,5	277,3	377,6
			Stahlbeton B15-B25 (95/5)	6,00	2400,00	-							
SW mas _70	1949- 1994	x x x x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3)	7,50	2400,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 91	25,5	227,5	309,0	23,9	207,2	281,9
SW mas _71	1979- 1990	x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3)	7,70	2400,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 100; Durchschnitts- dicke	26,1	233,6	317,2	24,5	212,7	289,4
SW mas _72	1979- 1990	x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3)	13,70	2400,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 109; Durchschnitts- dicke	46,5	415,5	564,4	43,7	378,5	514,9
SW mas _73	1958- 1994	x x x x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 129	32,1	198,7	241,4	32,0	197,3	239,6
			Gasbeton(block/ -steine)	12,00	472,00/ 2000,00	-							
SW mas _74	1958- 1994	x x x x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 138	37,9	283,6	339,1	36,9	269,6	323,8
			Hochlochziegel (75/25)	18,25	800,00/ 2000,00	-							
SW mas _75	1984- 2001	x x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 148	28,4	273,7	327,1	27,2	255,7	307,5
			Leichthochlochziegel	18,25	800,00/ 2000,00	-							
SW mas _76	1958- 1994	x x x x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 157	32,1	198,7	241,4	32,0	197,3	239,6
			Gasbeton(block/ -steine)	12,00	472,00/ 2000,00	-							
SW mas _77	1958- 2001	x x x x x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 167	37,9	283,6	339,1	36,9	269,6	323,8
			Hochlochziegel (75/25)	18,25	800,00/ 2000,00	-							
SW mas _78	1991- 2000	x x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 119	33,9	254,2	297,9	33,9	254,2	297,9
			Kalksandstein (95/5)	12,00	1800,00/ 2000,00	-							
SW mas _79	1991- 2000	x x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 119	33,9	254,2	297,9	33,9	254,2	297,9
			Kalksandstein (95/5)	6,00	1800,00/ 2000,00	-							
SW mas _80	1991- 2000	x x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 157, 177	32,1	198,7	241,4	32,0	197,3	239,6
			Gasbeton(block/ -steine)	6,00	472,00/ 2000,00	-							
SW mas _81	1991- 2000	x x x x x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 167, 187, 197	26,0	196,6	234,8	25,4	187,4	224,7
			Hochlochziegel (75/25)	6,00	800,00/ 2000,00	-							
SW mas _82	2002- 2020	x x x	Innenputz	1,00	900,00	-	Minimaldicke Trennwand nach Hersteller- angaben (Schlagmann POROTON S Pz Planziegel 175)	30,9	241,4	288,3	28,5	208,7	246,8
			Hochlochziegel (51,6/48/0,4), Trennwand	17,50	2000,00	-							
			Mineralwolle (Außenwand)	1,00	46,25	-							
SW mas _83	2002- 2020	x x x	Innenputz	2,00	900,00	-	Maximaldicke Trennwand nach Hersteller- angaben (Schlagmann POROTON S Pz Planziegel 300)	54,0	424,4	506,6	49,8	368,4	435,5
			Hochlochziegel (51,6/48/0,4), Trennwand	30,00	2000,00	-							
			Mineralwolle (Außenwand)	2,00	46,25	-							

SW mas _84	2002- 2020	x x x	Innenputz Kalksandstein (99,2/0,8) Mineralwolle (Außenwand)	1,00 900,00 11,50 1800,00 1,00 160,00	- Minimaldicke Trennwand nach - Hersteller- angaben (KS Original KS-Ratio- Blocksteine, KS L-R, SFK 12, RDK 1,4 - 4 DF (t 115)	32,4 253,9 297,2	32,4 253,9 297,2
SW mas _85	2002- 2020	x x x	Innenputz Kalksandstein (95/5) Mineralwolle (Außenwand)	2,00 900,00 24,00 1800,00 2,00 160,00	- Maximaldicke Trennwand nach - Hersteller- angaben (KS Original KS-Ratio- Blocksteine, KS L-R, SFK 12, RDK 1,4 - 8 DF (t 240)	68,5 523,7 613,3	68,5 523,7 613,3
SW mas _86	2002- 2020	x x x	Innenputz Porenbeton P2 04 (99,2/0,8) Mineralwolle (Außenwand)	1,00 900,00 11,50 380,00 1,00 160,00	- Minimaldicke nach Hersteller- angaben - (Bundesverband Porenbeton e.V., 2018, Poren- betonhandbuch, S.32: Haustrenn- wände in allen Steindicken möglich); Annahme: Haustrennwand nichttragend	25,0 174,0 213,3	24,9 172,8 211,8
SW mas _87	2002- 2020	x x x	Innenputz Porenbeton P4 05 (95/5) Mineralwolle (Außenwand)	2,00 900,00 48,00 380,00 2,00 160,00	- Maximaldicke nach Herstel- lerangaben - (Bundesverband Porenbeton e.V., 2018, Poren- betonhandbuch, S.32: Haustrennwände in allen Steindicken möglich)	119,1 746,4 909,4	118,6 740,5 901,9
SW mas _88	2002- 2020	x x x	Stahlbeton C20/25 (99/1) Mineralwolle (Außenwand)	15,00 2400,00 1,00 160,00	- Annahme: minimale - konstruktiv aus- führbare Stahl- betonwanddicke (Betonierbarkeit)	36,8 268,2 345,4	33,6 226,8 290,0
SW mas _89	2002- 2020	x x x	Innenputz Stahlbeton C30/37 (98/2) Mineralwolle (Außenwand)	2,00 900,00 30,00 2400,00 2,00 160,00	- Annahme: maximal im - Wohnungsbau gängig - ausgeführte Stahl- betonwanddicke	105,5 835,3 1091,9	99,2 753,3 982,2
SW 2shel- led _1	bis 1918	x	Kalkgipsputz Vollziegel	1,00 900,00 6,00 1800,00/ 2000,00	- ZUB, 2009b, S. 10	13,5 103,2 123,1	13,2 98,6 118,1
SW 2shel- led _2	1919- 1948	x	Kalkgipsputz Vollziegel	1,00 900,00 6,00 1800,00/ 2000,00	- ZUB, 2009b, S. 13	13,5 103,2 123,1	13,2 98,6 118,1
SW 2shel- led _3	1949- 1957	x	Kalkgipsputz Ziegelsplittbeton	1,00 900,00 5,75 1400,00	- ZUB, 2009b, S. 17	16,8 100,4 123,2	16,6 97,3 119,1
SW 2shel- led _4	1949- 1957	x	Kalkgipsputz Kalksandstein (75/25)	1,00 900,00 12,00 1800,00/ 2000,00	- ZUB, 2009b, S. 18; - Minimaldicke	35,8 237,1 279,1	35,8 237,1 279,1
SW 2shel- led _5	1949- 1957	x	Kalkgipsputz Kalksandstein (75/25)	1,00 900,00 15,00 1800,00/ 2000,00	- ZUB, 2009b, S. 18; - Maximaldicke	44,2 291,5 343,1	44,2 291,5 343,1
SW 2shel- led _6	1958- 1968	x x	Kalkgipsputz Hochlochziegel (75/25)	1,00 900,00 8,75 1200,00/ 2000,00	- ZUB, 2009b, S. 19	18,8 141,5 169,0	18,3 134,8 161,7
SW 2shel- led _7	1958- 1968	x	Kalkgipsputz Kalksandstein (75/25)	1,00 900,00 12,00 1400,00/ 2000,00	- ZUB, 2009b, S. 20	35,8 237,1 279,1	35,8 237,1 279,1

A.2 Bilanzierte Altbaukonstruktionen

SW 2shel- led _8	1958- 1968	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	-	ZUB, 2009b, S. 21	32,8	188,2	232,1	32,3	181,6	223,6
SW 2shel- led _9	1969- 1978	x	Kalkgipsputz Hochlochziegel (75/25)	1,00 8,75	900,00 1200,00/ 2000,00	-	ZUB, 2009b, S. 26; Minimaldicke	18,8	141,5	169,0	18,3	134,8	161,7
SW 2shel- led _10	1969- 1978	x	Kalkgipsputz Hochlochziegel (75/25)	1,00 12,00	900,00 1200,00/ 2000,00	-	ZUB, 2009b, S. 26; Maximaldicke	24,9	186,8	223,3	24,3	177,5	213,2
SW 2shel- led _11	1969- 1978	x	Kalkgipsputz Porenbeton	1,00 8,75	900,00 600,00	-	ZUB, 2009b, S. 27; Minimaldicke	21,9	141,3	172,2	21,8	140,2	170,7
SW 2shel- led _12	1969- 1978	x	Kalkgipsputz Porenbeton	1,00 12,00	900,00 600,00	-	ZUB, 2009b, S. 27; Maximaldicke	29,2	186,5	227,6	29,1	184,9	225,6
SW 2shel- led _13	1969- 1978	x	Kalkgipsputz Hochlochziegel (75/25)	1,00 8,75	900,00 1200,00/ 2000,00	-	ZUB, 2009b, S. 28; Minimaldicke	18,8	141,5	169,0	18,3	134,8	161,7
SW 2shel- led _14	1969- 1978	x	Kalkgipsputz Hochlochziegel (75/25)	1,00 12,00	900,00 1200,00/ 2000,00	-	ZUB, 2009b, S. 28; Maximaldicke	24,9	186,8	223,3	24,3	177,5	213,2
SW 2shel- led _15	1919- 1948	x	Innenputz Vollziegel	1,00 6,00	900,00 1800,00/ 2000,00	-	ZUB, 2009b, S. 120	13,5	103,2	123,1	13,2	98,6	118,1
SW 2shel- led _16	1919- 1948	x	Innenputz Vollziegel	1,00 6,00	900,00 1800,00/ 2000,00	-	ZUB, 2009b, S. 121; Minimaldicke	13,5	103,2	123,1	13,2	98,6	118,1
SW 2shel- led _17	1919- 1948	x	Innenputz Vollziegel	1,00 8,75	900,00 1800,00/ 2000,00	-	ZUB, 2009b, S. 121; Maximaldicke	18,8	141,5	169,0	18,3	134,8	161,7
SW 2shel- led _18	bis 1978	x x x x x	Kalkgipsputz Vollziegel	1,00 6,00	900,00 1800,00/ 2000,00	-	ZUB, 2009b, S. 155	13,5	103,2	123,1	13,2	98,6	118,1
SW 2shel- led _19	1971- 1990	x x x	Normalbeton	7,50	2350,00	-	ZUB, 2009b, S. 160, 161, 163, 165	13,8	74,3	89,4	12,2	53,4	61,4
SW 2shel- led _20	1981- 1990	x x	Normalbeton	7,50	2350,00	-	ZUB, 2009b, S. 162	13,8	74,3	89,4	12,2	53,4	61,4
SW 2shel- led _21	1976- 1990	x x x	Normalbeton	7,50	2350,00	-	ZUB, 2009b, S. 164	13,8	74,3	89,4	12,2	53,4	61,4
SW 2shel- led _22	1949- 1994	x x x x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3)	7,50	2400,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 91	25,5	227,5	309,0	23,9	207,2	281,9
SW 2shel- led _23	1979- 1990	x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3)	7,50	2400,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 100	25,5	227,5	309,0	23,9	207,2	281,9
SW 2shel- led _24	1979- 1990	x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3)	9,50	2400,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 109; Maximaldicke	32,2	288,2	391,4	30,3	262,4	357,0
SW 2shel- led _25	1979- 1990	x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3)	5,00	2400,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 109; Minimaldicke	17,0	151,7	206,0	15,9	138,1	187,9
SW cwf _1	1969- 1978	x	Kalkgipsputz Kalksandstein (75/25)	1,00 8,75	900,00 1400,00/ 2000,00	-	ZUB, 2009b, S. 29; Minimaldicke	26,7	178,2	209,7	26,7	178,2	209,7
SW cwf _2	1969- 1978	x	Kalkgipsputz Kalksandstein (75/25)	1,00 12,00	900,00 1400,00/ 2000,00	-	ZUB, 2009b, S. 29; Maximaldicke	35,8	237,1	279,1	35,8	237,1	279,1

SW cwf _3	1969- 1978	x	Kalkgipsputz Ortbeton	1,00 8,00	900,00 2400,00	- -	ZUB, 2009b, S. 30	16,8 98,9 118,3	15,1 76,6 88,5
SW cwf _4	1969- 1978	x	Kalkgipsputz Kalksandstein (75/25)	1,00 8,00	900,00 1400,00/ 2000,00	- -	ZUB, 2009b, S. 30	24,6 164,6 193,7	24,6 164,6 193,7
SW cwf _5	1969- 1978	x	Kalkgipsputz Hochlochziegel (75/25)	1,00 15,00	900,00 1200,00/ 2000,00	- -	ZUB, 2009b, S. 94	30,6 228,5 273,4	29,8 217,0 260,7
SW cwf _6	bis 1918	x	Kalkgipsputz Naturstein- mauerwerk	1,00 20,00	900,00 2600,00/ 2000,00	- -	ZUB, 2009b, S. 149	34,2 291,9 323,7	33,4 281,2 310,0
SW wood _1	bis 1918	x	Lehmputz innen Holzständer (Eiche)/Gefach: Lehmstaken	1,50 12,00	900,00 492,92/ 2000,00/ 100,00	- -	ZUB, 2009b, S. 12	0,9 73,9 217,4	-12,9 -111,6 267,1
SW wood _2	bis 1918	x	Lehmputz innen Holzständer (Eiche)/Gefach: Lehmstaken	1,50 6,00	900,00 492,92/ 2000,00/ 100,00	- -	ZUB, 2009b, S. 82; Minimaldicke	1,2 44,5 117,7	-5,8 -48,7 142,1
SW wood _3	bis 1918	x	Lehmputz innen Holzständer (Eiche)/Gefach: Lehmstaken	1,50 8,00	900,00 492,92/ 2000,00/ 100,00	- -	ZUB, 2009b, S. 82; Maximaldicke	1,1 54,3 151,0	-8,1 -69,7 183,7
SW wood _4	bis 1918	x	Lehmputz innen Holzständer (Eiche)/Gefach: Lehmstaken	1,00 6,00	900,00 492,92/ 2000,00/ 100,00	- -	ZUB, 2009b, S. 83; Minimaldicke	0,7 39,4 111,7	-6,2 -53,4 136,4
SW wood _5	bis 1918	x	Lehmputz innen Holzständer (Eiche)/Gefach: Lehmstaken	1,00 8,00	900,00 492,92/ 2000,00/ 100,00	- -	ZUB, 2009b, S. 83; Maximaldicke	0,6 49,2 145,0	-8,6 -74,4 178,1
SW wood _6	bis 1918	x	Lehmputz innen Holzständer (Eiche)/Gefach: Ziegel	1,00 8,00	900,00 492,92/ 1800,00/ 2000,00	- -	ZUB, 2009b, S. 84; Gruhler et al., 2002; Minimaldicke	14,7 119,5 170,6	8,9 40,7 185,4
SW wood _7	bis 1918	x	Lehmputz innen Holzständer (Eiche)/Gefach: Ziegel	1,00 12,50	900,00 492,92/ 1800,00/ 2000,00	- -	ZUB, 2009b, S. 84; Gruhler et al., 2002; Maximaldicke	22,5 181,0 259,8	13,4 58,2 283,2
SW wood _8	bis 1918	x	Lehmputz innen Holzständer (Eiche)/Gefach: Lehmstaken	3,00 7,00	900,00 492,92/ 2000,00/ 100,00	- -	ZUB, 2009b, S. 116; Minimaldicke	2,6 64,4 152,3	-5,6 -45,0 179,9
SW wood _9	bis 1918	x	Lehmputz innen Holzständer (Eiche)/Gefach: Lehmstaken	3,00 8,00	900,00 492,92/ 2000,00/ 100,00	- -	ZUB, 2009b, S. 116; Maximaldicke	2,5 69,3 169,0	-6,8 -55,5 200,7
SW wood _10	bis 1918	x	Lehmputz innen Holzständer (Eiche)/Gefach: Lehmstein	3,00 7,00	900,00 492,92/ 1200,00/ 2000,00	- -	ZUB, 2009b, S. 117; Minimaldicke	13,6 138,7 179,9	8,6 72,0 195,2
SW wood _11	bis 1918	x	Lehmputz innen Holzständer (Eiche)/Gefach: Lehmstein	3,00 8,00	900,00 492,92/ 1200,00/ 2000,00	- -	ZUB, 2009b, S. 117; Maximaldicke	15,1 154,2 200,5	9,5 78,2 218,2
SW wood _12	bis 1918	x	Lehmputz innen Holzständer (Eiche)/Gefach: Ziegel	3,00 7,00	900,00 492,92/ 1800,00/ 2000,00	- -	ZUB, 2009b, S. 118; Gruhler et al., 2002; Minimaldicke	14,9 125,8 174,8	9,8 55,7 186,3
SW wood _13	bis 1918	x	Lehmputz innen Holzständer (Eiche)/Gefach: Ziegel	3,00 8,00	900,00 492,92/ 1800,00/ 2000,00	- -	ZUB, 2009b, S. 118; Gruhler et al., 2002; Maximaldicke	16,7 139,5 194,6	10,8 59,6 208,0
SW wood _14	bis 1918	x	Lehmputz innen Holzständer (Eiche)/Gefach: Lehmstaken	1,50 7,00	900,00 492,92/ 2000,00/ 100,00	- -	ZUB, 2009b, S. 151, 152; Maximaldicke	1,1 49,4 134,3	-6,9 -59,2 162,9
SW wood _15	bis 1918	x	Ziegel/Mörtel Holzständer/ Vollziegel/Mörtel Innenputz	13,00 6,00 1,50	1800,00/ 492,92/ 1800,00/ 2000,00 900,00	- -	Gruhler et al., 2002, S. 31	38,2 292,6 370,4	33,2 223,9 371,1

A.2 Bilanzierte Altbaukonstruktionen

SW wood _16	2002-2020	x x x	GKF-Platte	1,25	800,00	- dataholz.eu, 2021, Bauteil	9,8	145,4	275,0	3,4	58,5	240,1
			Zellulosefaser-Einblasdämmung	9,04	45,00	- twrxo03a-03;						
			Konstruktionsvollholz	0,96	492,92	- 2-schalige Gebäudetrennwand, halber						
			GKF-Platte	2,50	800,00	- Konstruktionsaufbau						
			Mineralwolle (Außenwand)	1,00	46,25	-						
SW wood _17	2002-2020	x x x	Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	- dataholz.eu, 2021, Bauteil	60,3	867,3	1833,9	16,3	121,6	1500,4
			Lattung	0,58	484,51	- twrxo07b-00; mit						
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	5,42	160,00	- Holzfaser- statt Mineral-						
			OSB-Platte	1,50	600,00	- wollgefach-						
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	14,54	160,00	- dämmung, Ständerdicke von						
			Konstruktionsvollholz	3,46	492,92	- je 18 cm und						
			OSB-Platte	1,50	600,00	- einer Installations-						
			Gipsfaserplatte	1,25	1000,00	- ebene;						
			Mineralwolle (Außenwand)	1,00	46,25	- 2-schalige Gebäudetrennwand, halber						
						- Konstruktionsaufbau						
SW wood _18	2002-2020	x x x	Brettsper Holz	7,80	489,41	- dataholz.eu, 2021, Bauteil	13,5	179,2	365,9	-13,8	-236,1	451,0
			Mineralwolle (Außenwand)	1,00	46,25	- twmxxo03a-00; jedoch ohne						
						- Verkleidung mit Trockenbau-						
						- platte; 2-schalige						
						- Gebäudetrennwand, halber						
						- Konstruktionsaufbau						
SW wood _19	2002-2020	x x x	Gipsfaserplatte	2,50	1000	- dataholz.eu, 2021, Bauteil	57,1	764,2	1593,6	-34,0	-625,9	1756,5
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	5,42	160	- twmxxo06a-01; mit Holzfaser-						
			Lattung	0,58	484,51	- statt Mineralwoll-						
			Brettsper Holz	24,00	489,41	- dämmung, 2-fache						
			Mineralwolle (Außenwand)	2,00	46,25	- Beplankung mit Gipsfaserplatte						
						- und einer BSH-Dicke von 240						
						- mm; 2-schalige Gebäudetrennwand, halber						
						- Konstruktionsaufbau						
IWmas _1	bis 1918	x	Innenputz	1,50	900,00	- Gruhler et al., 2002,	29,2	226,1	269,3	28,5	216,8	259,2
			Vollziegel/Mörtel	12,00	575,00/2000,00	- S. 32, 42, 51; Mindestdicke						
			Innenputz	1,50	900,00	-						
IWmas _2	bis 1918	x	Innenputz	1,50	900,00	- Gruhler et al., 2002,	78,6	588,1	703,3	76,6	558,9	671,3
			Vollziegel/Mörtel	38,00	575,00/2000,00	- S. 32; Maximaldicke						
			Innenputz	1,50	900,00	-						
IWmas _3	1870-1918	x	Innenputz	1,50	900,00	- Gruhler et al., 2002,	103,3	769,2	920,2	100,6	729,9	877,3
			Vollziegel/Mörtel	51,00	575,00/2000,00	- S. 42; Maximaldicke						
			Innenputz	1,50	900,00	-						
IWmas _4	1870-1918	x	Innenputz	1,50	900,00	- Gruhler et al., 2002,	128,0	950,2	1137,2	124,6	901,0	1083,4
			Vollziegel/Mörtel	64,00	575,00/2000,00	- S. 51; Maximaldicke						
			Innenputz	1,50	900,00	-						
IWmas _5	1919-1945	x	Innenputz	1,50	900,00	- Gruhler et al., 2002,	21,6	170,4	202,5	21,2	164,2	195,8
			Vollziegel/Mörtel	8,00	575,00/2000,00	- S. 61; Mindestdicke						
			Innenputz	1,50	900,00	-						
IWmas _6	1919-1945	x	Innenputz	1,50	900,00	- Gruhler et al., 2002,	103,3	769,2	920,2	100,6	729,9	877,3
			Vollziegel/Mörtel	51,00	575,00/2000,00	- S. 61; Maximaldicke						
			Innenputz	1,50	900,00	-						
IWmas _7	1949-1978	x x x	Innenputz	1,50	900,00	- Gruhler et al., 2002,	19,7	156,4	185,8	19,3	151,1	180,0
			Vollziegel/Mörtel	7,00	575,00/2000,00	- S. 71; Mindestdicke						
			Innenputz	1,50	900,00	-						
IWmas _8	1949-1978	x x x	Innenputz	1,50	900,00	- Gruhler et al., 2002,	75,7	567,3	678,2	73,8	539,2	647,5
			Vollziegel/Mörtel	36,50	575,00/2000,00	- S. 71; Maximaldicke						
			Innenputz	1,50	900,00	-						

IWmas 1949- _9 1978	x x x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 81;	28,5	278,7	372,6	27,5	265,5	354,9
		Stahlbeton B15-B25 (95/5)	5,00	2400,00	-							
		Innenputz	1,50	900,00	-	Mindestdicke						
IWmas 1949- _10 1978	x x x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 81;	112,7	1113,7	1526,4	107,8	1050,1	1441,3
		Stahlbeton B15-B25 (95/5)	24,00	2400,00	-							
		Innenputz	1,50	900,00	-	Maximaldicke						
IWmas 1949- _11 1994	x x x x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3)	7,50	2400,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 91; Minimaldicke	25,5	227,5	309,0	23,9	207,2	281,9
IWmas 1949- _12 1994	x x x x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3)	15,00	2400,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 91; Maximaldicke	50,9	455,0	618,0	47,8	414,4	563,7
IWmas 1979- _13 1990	x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3)	6,00	2400,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 100, 109; Minimaldicke	20,4	182,0	247,2	19,1	165,8	225,5
IWmas 1979- _14 1990	x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3)	15,00	2400,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 100; Maximaldicke	50,9	455,0	618,0	47,8	414,4	563,7
IWmas 1979- _15 1990	x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3)	30,00	2400,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 109; Maximaldicke	101,8	910,0	1236,0	95,6	828,8	1127,4
IWmas 1991- _19 2000	x x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 119; Mindestdicke	51,1	386,6	453,2	51,1	386,6	453,2
		Kalksandstein (95/5)	17,50	1800,00/ 2000,00	-							
IWmas 1991- _20 2000	x x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 119; Maximaldicke	67,8	508,3	595,9	67,8	508,3	595,9
		Kalksandstein (95/5)	24,00	1800,00/ 2000,00	-							
		Innenputz	1,50	900,00	-							
IWmas 1961- _21 1990	x x x x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 129; Mindestdicke	19,9	157,8	187,5	19,5	152,4	181,5
		Ziegel/Mörtel	7,10	575,00/ 2000,00	-							
IWmas 1961- _22 1990	x x x x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 129; Maximaldicke	52,0	393,2	469,6	50,7	374,7	449,4
		Ziegel/Mörtel	24,00	575,00/ 2000,00	-							
		Innenputz	1,50	900,00	-							
IWmas 1961- _23 2000	x x x x x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 148; Mindestdicke	28,2	219,1	260,9	27,6	210,3	251,3
		Hochlochziegel (75/25)	11,50	575,00/ 2000,00	-							
		Innenputz	1,50	900,00	-							
IWmas 1961- _24 2000	x x x x x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 148; Maximaldicke	52,0	393,2	469,6	50,7	374,7	449,4
		Hochlochziegel (75/25)	24,00	575,00/ 2000,00	-							
		Innenputz	1,50	900,00	-							
IWmas 1961- _25 1990	x x x x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 157; Mindestdicke	19,9	157,8	187,5	19,5	152,4	181,5
		Ziegel/Mörtel	7,10	575,00/ 2000,00	-							
IWmas 1961- _26 1990	x x x x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 157; Maximaldicke	28,8	251,6	304,4	28,7	250,2	302,6
		Hohlblockstein (90/10)	11,50	501,00/ 2000,00	-							
		Innenputz	1,50	900,00	-							
IWmas 1961- _27 2000	x x x x x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 167;	19,9	157,8	187,5	19,5	152,4	181,5
		Hochlochziegel (75/25)	7,10	575,00/ 2000,00	-	Mindestdicke						
		Innenputz	1,50	900,00	-							
IWmas 1961- _28 2000	x x x x x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 167;	28,2	219,1	260,9	27,6	210,3	251,3
		Hochlochziegel (75/25)	11,50	575,00/ 2000,00	-	Maximaldicke						
		Innenputz	1,50	900,00	-							
IWmas 1961- _29 2000	x x x x x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 167	53,2	461,1	560,3	53,0	458,1	556,5
		Hohlblockstein (90/10)	24,00	501,00/ 2000,00	-							
IWmas 1961- _30 2000	x x x x x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 177;	28,2	219,1	260,9	27,6	210,3	251,3
		Ziegel/Mörtel	11,50	575,00/ 2000,00	-	Mindestdicke						
		Innenputz	1,50	900,00	-							
IWmas 1961- _31 2000	x x x x x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 177;	52,0	393,2	469,6	50,7	374,7	449,4
		Ziegel/Mörtel	24,00	575,00/ 2000,00	-							
		Innenputz	1,50	900,00	-	Maximaldicke						

A.2 Bilanzierte Altbaukonstruktionen

IWmas 1961- _32 1978	x x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 187; Mindestdicke	26,0	185,8	218,4	26,0	185,8	218,4
		Kalksandstein (75/25)	7,00	1800,00/ 2000,00	-							
		Innenputz	1,50	900,00	-							
IWmas 1961- _33 1978	x x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 187; Maximaldicke	73,8	493,9	581,1	73,8	493,9	581,1
		Kalksandstein (75/25)	24,00	1800,00/ 2000,00	-							
		Innenputz	1,50	900,00	-							
IWmas 1961- _34 1978	x x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 187	43,1	383,8	458,3	41,6	361,7	434,1
		Hochlochziegel (90/10)	24,00	575,00/ 2000,00	-							
		Innenputz	1,50	900,00	-							
IWmas 1991- _35 2000	x x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 197; Mindestdicke	19,7	156,4	185,8	19,3	151,1	180,0
		Hochlochziegel (75/25)	7,00	575,00/ 2000,00	-							
		Innenputz	1,50	900,00	-							
IWmas 1991- _36 2000	x x	Innenputz	1,50	900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 197; Maximaldicke	75,7	567,3	678,2	73,8	539,2	647,5
		Hochlochziegel (75/25)	36,50	575,00/ 2000,00	-							
		Innenputz	1,50	900,00	-							
IWmas 2002- _37 2020	x x x	Innenputz	1,00	900,00	-	Annahme Verhältnis Planziegel und Dünnbettmörtel in Annäherung an Hersteller- angaben (Wienerberger, Poroton- Hochlochziegel- Plan-T-11,5: Steinhöhe 498 mm, Mörtel- schicht 2 mm); Minimaldicke	19,1	192,1	229,1	18,3	180,4	216,3
		Hochlochziegel (99,6/0,4)	11,50	575,00	-							
		Innenputz	1,00	900,00	-							
IWmas 2002- _38 2020	x x x	Innenputz	2,00	900,00	-	Annahme Verhältnis Ziegel/Mörtel für den ungüns- tigsten Fall gewählt; Maximaldicke für Standardinnen- wände nach Hersteller- angaben (Wienerberger)	40,5	398,5	475,4	38,9	374,4	449,0
		Hochlochziegel (98/2)	24,00	575,00	-							
		Innenputz	2,00	900,00	-							
IWmas 2002- _39 2020	x x x	Innenputz	1,00	900,00	-	Annahme Verhältnis Planziegel und Dünnbettmörtel in Annäherung an Herstelleran- gaben (KS Original, KS Ratio Plansteine: Steinhöhe 248 mm, Mörtel- schicht 2 mm); Minimaldicke	33,1	256,1	299,9	33,1	256,1	299,9
		Kalksandstein (99,2/0,8)	11,50	1800,00	-							
		Innenputz	1,00	900,00	-							
IWmas 2002- _40 2020	x x x	Innenputz	2,00	900,00	-	Annahme Verhältnis Ziegel/Mörtel in Annäherung an Herstelleran- gaben (KS Original, KS Ratio Block- steine: Steinhöhe 238 mm, Mörtelschicht 12 mm); Maximal- dicke für Standard- innenwände nach Herstelleran- gaben (KS Original)	69,9	528,0	618,9	69,9	528,0	618,9
		Kalksandstein (95/5)	24,00	1800,00	-							
		Innenputz	2,00	900,00	-							
IWmas 2002- _41 2020	x x x	Innenputz	1,00	900,00	-	Annahme Verhältnis Planziegel und Dünnbettmörtel in Annäherung; Minimaldicke	25,7	176,2	216,1	25,6	175,0	214,5
		Porenbeton P2 04 (99,2/0,8)	11,50	380,00	-							
		Innenputz	1,00	900,00	-							

IWmas	2002- _42	2020	x	x	x	Innenputz Porenbeton P4 05 (95/5)	2,00 24,00	900,00 380,00	-	Annahme Verhältnis - Planziegel und Normalmörtel in - Annäherung; Maximaldicke	64,5 414,7 503,5	64,2 411,7 499,7
IWmas	2002- _43	2020	x	x	x	Stahlbeton C20/25 (99/1)	15,00	2400,00	-	Minimal konstruktiv ausführbare Wandicke bei Ortbetonwänden (Betonierbarkeit)	35,4 250,7 325,1	32,2 209,3 269,7
IWmas	2002- _44	2020	x	x	x	Innenputz Stahlbeton C30/37 (98/2) Innenputz	2,00 25,00 2,00	900,00 2400,00 900,00	-	Maximaldicke in Annäherung an - Mauerwerksdicke - n gewählt, wobei 250 mm gängigeres Betoniermaß ist	90,4 712,8 929,9	85,2 644,4 838,5
IW wood	bis _1	1918	x			Innenputz Holzständer/ Vollziegel/Mörtel Innenputz	1,50 12,00 1,50	900,00 492,92/ 575,00/ 2000,00 900,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 32	27,0 223,1 306,9	18,4 105,7 330,0
IW wood	2002- _2	2020	x	x	x	GKF-Platte Zellulosefaser- Einblasdämmung Konstruktionsvollholz GKF-Platte	1,25 9,04 0,96 1,25	800,00 45,00 492,92 800,00	-	dataholz.eu, 2021, Bauteil iwrxo01a-04; - Ständerabstand - gewählt: 62,5 cm	6,7 92,2 208,9	0,3 5,3 174,0
IW wood	2002- _3	2020	x	x	x	Gipsfaserplatte OSB-Platte Holzfaserdämmung (Innenausbau) Konstruktionsvollholz OSB-Platte Gipsfaserplatte	3,60 2,20 19,39 4,61 2,20 3,60	1000,00 600,00 160,00 492,92 600,00 1000,00	-	dataholz.eu, 2021, Bauteil iwrxo10b-00; - jedoch mit Holzfaserdämm- stoff und auf 24 - cm Ständerdicke - erhöht	75,9 1140,3 2199,5	25,0 264,3 1886,9
IW wood	2002- _4	2020	x	x	x	Brettsper Holz	9,00	489,41	-	dataholz.eu, 2021, Bauteil iwmxo01a-00; jedoch ohne Verkleidung mit Trockenbauplatte	14,0 186,6 398,8	-17,6 -292,6 497,0
IW wood	2002- _5	2020	x	x	x	Gipsfaserplatte Holzfaserdämmung (Innenausbau) Lattung Brettsper Holz Lattung Holzfaserdämmung (Innenausbau) Gipsfaserplatte	3,60 5,42 0,58 24,00 0,58 5,42 3,60	1000,00 160,00 484,51 489,41 484,51 160,00 1000,00	-	dataholz.eu, 2021, Bauteil iwmxo02a-01; - jedoch mit beidseitiger Beplankung, dickerer - Gipsfaserplatte, Holzfaserdämm- ung und einer Dicke des BSH von 24 cm	78,5 1073,4 2198,2	-19,6 -428,8 2262,3
CW	bis _1	1945	x	x		Außenputz Vollziegel/Mörtel Innenputz	2,00 51,00 1,50	1800,00 575,00/ 2000,00 900,00	1,00 0,79 0,70	Gruhler et al., 2002, S. 31, 61	115,4 841,8 1034,3	112,8 802,5 991,4
CW	bis _2	1918	x			Vollziegel/Mörtel Innenputz	38,00 1,50	575,00/ 2000,00 900,00	0,79 0,70	Gruhler et al., 2002, S. 31	75,4 558,7 668,8	73,4 529,4 636,8
CW	1870- _3	1918	x			Außenputz Vollziegel/Mörtel Innenputz	2,00 64,00 1,50	1800 575,00/ 2000,00 900	1,00 0,79 0,70	Gruhler et al., 2002, S. 41, 51	140,1 1022,8 1251,3	136,8 973,6 1197,5
CW	1870- _4	1918	x			Vollziegel/Mörtel Innenputz	25,00 1,50	900,00 900,00	0,79 0,70	Gruhler et al., 2002, S. 41, 51	50,7 377,6 451,8	49,4 358,4 430,7
CW	1919- _5	1945	x			Vollziegel/Mörtel Innenputz	12,00 1,50	575,00/ 2000,00 900,00	0,79 0,70	Gruhler et al., 2002, S. 61	26,0 196,6 234,8	25,4 187,4 224,7
CW	1949- _6	1978	x	x	x	Außenputz Vollziegel/Mörtel Innenputz	2,00 36,50 1,50	1800 575,00/ 2000,00 900	1,00 0,79 0,70	Gruhler et al., 2002, S. 71	87,9 639,9 792,3	86,0 611,8 761,6
CW	1949- _7	1978	x	x	x	Vollziegel/Mörtel Innenputz	24,00 1,50	575,00/ 2000,00 900	0,79 0,70	Gruhler et al., 2002, S. 71	48,8 363,7 435,1	47,5 345,2 414,9
CW	1949- _8	1978	x	x	x	Außenputz Stahlbeton B15-B25 (95/5) Innenputz	2,00 22,60 1,50	1800 2400 900	1,00 2,50 0,70	Gruhler et al., 2002, S. 81; Durchschnitts- dicke	118,7 1124,8 1555,5	114,1 1064,9 1475,4

A.2 Bilanzierte Altbaukonstruktionen

CW _9	1949- 1994	x x x x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3)	17,30	2400,00	2,50	Gruhler et al., 2002, S. 91; Durchschnitts- dicke; Bestimmung der typischen Baualterklassen unter zusätzlicher Berücksichtigung von www.ioer- bdat.de, Bauwerksdaten MFH für Ostdeutschland	58,7	524,7	712,8	55,1	477,9	650,2
CW _10	1979- 1990	x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3)	22,40	2400,00	2,50	Gruhler et al., 2002, S. 100; Durchschnitts- dicke	76,0	679,4	922,9	71,4	618,8	841,8
CW _11	1991- 2000	x x	Außenputz Polystyrolämmung, XPS (KW) Stahlbeton B15-B25 (97/3) Innenputz	2,00 6,00 30,00 1,50	1800,00 32,00 2400,00 900,00	1,00 0,04 2,50 0,70	Gruhler et al., 2002, S. 119	146,1	1384,3	1783,8	133,9	1216,2	1563,4
CW _12	1961- 1990	x x x x	Außenputz Beton B5-B20 Innenputz	2,00 40,00 1,50	1800,00 2400,00 900,00	1,00 2,00 0,70	Gruhler et al., 2002, S. 129	92,1	527,8	659,7	83,6	416,2	510,4
CW _13	1961- 1990	x x x x	Außenputz Ziegelmauerwerk Innenputz	2,00 36,50 1,50	1800,00 575,00/ 2000,00 900,00	1,00 0,79 0,70	Gruhler et al., 2002, S. 138	87,9	639,9	792,3	86,0	637,2	764,2
CW _14	1961- 1990	x x x x	Außenputz Hohlblockstein (75/25) Innenputz	2,00 36,50 1,50	1800 501,00/ 2000,00 900	1,00 0,41 0,70	Gruhler et al., 2002, S. 138, 167	100,7	737,7	921,6	100,4	734,0	916,8
CW _15	1991- 2000	x x	Bitumenabdichtung Polystyrolämmung, XPS (KW) Hochlochziegel (75/25) Innenputz	0,50 6,00 36,50 1,50	1100,00 32,00 575,00/ 2000,00 900,00	- 0,04 0,79 0,70	Gruhler et al., 2002, S. 148, 197	103,2	1167,5	1315,4	95,3	1052,5	1173,0
CW _16	1961- 1990	x x x x	Außenputz Stampfbeton B5-B20 Innenputz	2,00 40,00 1,50	1800,00 2400,00 900,00	1,00 2,00 0,70	Gruhler et al., 2002, S. 157	92,1	527,8	659,7	83,6	416,2	510,4
CW _17	1961- 2000	x x x x x	Außenputz Schalsteine mit Betonfüllung B15 Innenputz	2,00 36,50 1,50	1800,00 2400,00/ 2000,00 900,00	1,00 2,10 0,70	Gruhler et al., 2002, S. 177	98,5	567,2	716,5	93,8	505,4	634,4
CW _18	1961- 1978	x x x x x x	Außenputz Kalksandstein (75/25) Innenputz	2,00 36,50 1,50	1800 1400,00/ 2000,00 900	1,00 0,70 0,70	Gruhler et al., 2002, S. 187	121,0	793,1	961,9	121,0	793,1	961,9
CW _19	2002- 2020	x x x	Noppenbahn PE-HD- Flächenabdichtung Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig) Außenputz Hochlochziegel (99,6/0,4) Innenputz	0,13 0,15 0,02 2,00 30,00 1,00	960,00 1067,00 950,00 1800,00 575,00 900,00	- - - 1 0,16/ 0,12/ 0,11 0,7	Dimensionierung in Anlehnung an www.bauwion.de (https://www.bau- wion.de/wissen/ro- hbau/bodenplatte- keller/102- kellerwaende- ziegel; https://www.bauwi- on.de/wissen/roh- bau/bodenplatte- keller/105- abdichtung- schwarze- wanne); Wahl Verhältnis Ziegel zu Dünn- bettmörtel nach Wienerberger	92,9	1060,7	1216,8	81,3	891,2	1004,7

CW 2016- _20 2020	x	Noppenbahn	0,13	960,00	-	Dimensionierung in Anlehnung an	106,6 1226,1 1393,2	95,0 1056,8 1181,4
		PE-HD-Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-	www.bauwion.de (https://www.bauwion.de/wissen/roh		
		Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-	hbau/bodenplatte-keller/102-kellerwaende-		
		Außenputz	2,00	1800,00	1,00	ziegel;		
		Hochlochziegel, Dämmstoff gefüllt (99,6/0,4)	30,00	575,00	0,09	https://www.bauwion.de/wissen/roh		
Innenputz	2,00	900,00	0,70	bau/bodenplatte-keller/105-abdichtung-schwarze-wanne); Wahl Verhältnis Ziegel zu Dünnbettmörtel nach Wienerberger; Wärmeleitfähigkeit Hochlochziegel für Niedrigstenergiestandard				
CW 2002- _21 2009	x	Noppenbahn	0,13	960,00	-	Dimensionierung in Anlehnung an	137,8 1437,6 1610,7	122,4 1211,7 1320,3
		Polystyrolämmung, XPS (KW)	6,00	32,00	0,04	www.		
		PE-HD-Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-	Kalksandstein.de und		
		Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-	www.bauwion.de (https://www.kalksandstein.de/entwurf-und-		
		Außenputz	2,00	1800,00	1,00	planung/bauteile/keller-und-		
Kalksandstein (99,2/0,8)	24,00	1800,00	0,99	kellerwaende/; https://www.bauwion.de/wissen/roh				
CW 2010- _22 2015	x	Noppenbahn	0,13	960,00	-	Dimensionierung in Anlehnung an	144,3 1523,2 1701,9	127,3 1275,7 1383,5
		Polystyrolämmung, XPS (KW)	7,50	32,00	0,04	www.		
		PE-HD-Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-	Kalksandstein.de und		
		Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-	www.bauwion.de (https://www.kalksandstein.de/entwurf-und-		
		Außenputz	2,00	1800,00	1,00	planung/bauteile/keller-und-		
Kalksandstein (99,2/0,8)	24,00	1800,00	0,99	kellerwaende/; https://www.bauwion.de/wissen/roh				
CW 2016- _23 2020	x	Noppenbahn	0,13	960,00	-	Dimensionierung in Anlehnung an	150,7 1608,9 1793,0	132,3 1339,7 1446,8
		Polystyrolämmung, XPS (KW)	9,00	32,00	0,04	www.		
		PE-HD-Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-	Kalksandstein.de und		
		Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-	www.bauwion.de (https://www.kalksandstein.de/entwurf-und-		
		Außenputz	2,00	1800,00	1,00	planung/bauteile/keller-und-		
Kalksandstein (99,2/0,8)	24,00	1800,00	0,99	kellerwaende/; https://www.bauwion.de/wissen/roh				

A.2 Bilanzierte Altbaukonstruktionen

CW 2002- _24 2009	x	Noppenbahn	0,13	960,00	-	Dimensionierung	175,3	1707,9	1928,0	159,9	1482,1	1637,6	
		Polystyrolämmung, XPS (KW)	6,00	32,00	0,04	in Anlehnung an www. Kalksandstein.de und www.bauwion.de (https://www.kalks andstein.de/entw urf-und- planung/bauteile/ keller-und- kellerwaende/; https://www.bauwi on.de/wissen/roh bau/bodenplatte- keller/105- abdichtung- schwarze-wanne)							
		PE-HD- Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-								
		Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-								
		Außenputz	2,00	1800,00	1,00								
		Kalksandstein (95/5)	36,50	1800,00	0,99								
		Innenputz	2,00	900,00	0,70								
<hr/>													
CW 2010- _25 2015	x	Noppenbahn	0,13	960,00	-	Dimensionierung	183,9	1822,1	2049,6	166,5	1567,4	1721,9	
		Polystyrolämmung, XPS (KW)	8,00	32,00	0,04	in Anlehnung an www. Kalksandstein.de und www.bauwion.de (https://www.kalks andstein.de/entw urf-und- planung/bauteile/ keller-und- kellerwaende/; https://www.bauwi on.de/wissen/roh bau/bodenplatte- keller/105- abdichtung- schwarze-wanne)							
		PE-HD- Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-								
		Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-								
		Außenputz	2,00	1800,00	1,00								
		Kalksandstein (95/5)	36,50	1800,00	0,99								
		Innenputz	2,00	900,00	0,70								
<hr/>													
CW 2016- _26 2020	x	Noppenbahn	0,13	960,00	-	Dimensionierung	190,3	1907,8	2140,7	171,4	1631,3	1785,1	
		Polystyrolämmung, XPS (KW)	9,50	32,00	0,04	in Anlehnung an www. Kalksandstein.de und www.bauwion.de (https://www.kalks andstein.de/entw urf-und- planung/bauteile/ keller-und- kellerwaende/; https://www.bauwi on.de/wissen/roh bau/bodenplatte- keller/105- abdichtung- schwarze-wanne)							
		PE-HD- Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-								
		Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-								
		Außenputz	2,00	1800,00	1,00								
		Kalksandstein (95/5)	36,50	1800,00	0,99								
		Innenputz	2,00	900,00	0,70								
<hr/>													
CW 2002- _27 2020	x x x	Noppenbahn	0,13	960,00	-	Dimensionierung	110,0	1019,1	1182,7	100,3	877,1	1000,2	
		PE-HD- Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-	in Anlehnung an www.ytong- silka.de und www.bauwion.de (https://baubuch.y tong- silka.de/konstrukti onsbeispiele/grue ndung/gruendung /; https://www.bauwi on.de/wissen/roh bau/bodenplatte- keller/102- kellerwaende- ziegel; https://www.bauwi on.de/wissen/roh bau/bodenplatte- keller/105- abdichtung- schwarze-wanne)							
		Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-								
		Außenputz	2,00	1800,00	1,00								
		Porenbeton P2 04 (99,2/0,8)	30,00	380,00	0,07/0,11								
		Innenputz	1,00	900,00	0,70								

CW _28	2002- 2020	x x x	Noppenbahn	0,13	960,00	-	Dimensionierung	126,1	1101,7	1276,4	116,4	959,2	1093,1
			PE-HD- Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-	in Anlehnung an www.ytong- silka.de und www.bauwion.de						
			Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-	(https://baubuch.y- tong- silka.de/konstruktio- nsbeispiele/grue- ndung/gruendung						
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00	;						
			Porenbeton P4 05 (95/5)	30,00	380,00	0,07/ 0,11							
			Innenputz	2,00	900,00	0,70	https://www.bauwi- on.de/wissen/roh- bau/bodenplatte- keller/102- kellerwaende- ziegel; https://www.bauwi- on.de/wissen/roh- bau/bodenplatte- keller/105- abdichtung- schwarze-wanne)						
CW _29	2002- 2009	x	Noppenbahn	0,13	960,00	-	Ausführung	91,8	964,1	1099,5	77,0	754,8	827,5
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	6,50	32,00	0,04	schwarze Wanne in Anlehnung an www.bauwion.de						
			Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-	(https://www.bau- wion.de/wissen/ro- hbau/bodenplatte- keller/105- abdichtung- schwarze- wanne); Annahme: Mindestwand- dicke 200 mm						
			Stahlbeton C20/25 (99/1)	20,00	2400,00	2,30							
CW _30	2010- 2015	x	Noppenbahn	0,13	960,00	-	Ausführung	98,2	1049,8	1190,7	82,0	818,8	890,7
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	8,00	32,00	0,04	schwarze Wanne in Anlehnung an www.bauwion.de						
			Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-	(https://www.bau- wion.de/wissen/ro- hbau/bodenplatte- keller/105- abdichtung- schwarze- wanne); Annahme: Mindestwand- dicke 200 mm						
			Stahlbeton C20/25 (99/1)	20,00	2400,00	2,30							
CW _31	2016- 2020	x	Noppenbahn	0,13	960,00	-	Ausführung	104,7	1135,5	1281,9	86,9	882,7	953,9
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	9,50	32,00	0,04	schwarze Wanne in Anlehnung an www.bauwion.de						
			Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-	(https://www.bau- wion.de/wissen/ro- hbau/bodenplatte- keller/105- abdichtung- schwarze- wanne); Annahme: Mindestwand- dicke 200 mm						
			Stahlbeton C20/25 (99/1)	20,00	2400,00	2,30							
CW _32	2002- 2009	x	Noppenbahn	0,13	960,00	-	Ausführung	165,8	1585,5	1915,4	147,4	1328,5	1580,0
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	7,00	32,00	0,04	weiße Wanne in Anlehnung an www.bauwion.de						
			Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-	(https://www.bau- wion.de/wissen/ro- hbau/bodenplatte- keller/106- abdichtung- weisse-wanne); Annahme: maximale Wanddicke 350 mm						
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	35,00	2400,00	2,50							
			Innenputz	2,00	900,00	0,70							

A.2 Bilanzierte Altbaukonstruktionen

CW 2010- _33 2015	x	Noppenbahn	0,13	960,00	-	Ausführung	174,3 1699,8 2037,0	154,0 1413,8 1664,3
		Polystyrolämmung, XPS (KW)	9,00	32,00	0,04	weiße Wanne in Anlehnung an		
		Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-	www.bauwion.de (https://www.bau		
		Stahlbeton C30/37 (98/2)	35,00	380,00	2,50	wion.de/wissen/ro hbau/bodenplatte-		
		Innenputz	2,00	900,00	0,70	keller/106- abdichtung- weisse-wanne); Annahme: maximale Wanddicke 350 mm		
CW 2016- _34 2020	x	Noppenbahn	0,13	960,00	-	Ausführung	180,8 1785,8 2128,2	158,9 1477,7 1727,5
		Polystyrolämmung, XPS (KW)	10,50	32,00	0,04	weiße Wanne in Anlehnung an		
		Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-	www.bauwion.de (https://www.bau		
		Stahlbeton C30/37 (98/2)	35,00	380,00	2,50	wion.de/wissen/ro hbau/bodenplatte-		
		Innenputz	2,00	900,00	0,70	keller/106- abdichtung- weisse-wanne); Annahme: maximale Wanddicke 350 mm		
CW 2002- _35 2020	x x x	Noppenbahn	0,13	960,00	-	Konstruktion für unbeheizten	85,1 980,9 1121,2	74,0 817,6 915,8
		PE-HD- Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-	Keller; Dimensionierung in Anlehnung an		
		Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-	www.bauwion.de (https://www.bau		
		Außenputz	2,00	1800,00	1,00	wion.de/wissen/ro hbau/bodenplatte-		
		Hochlochziegel (99,6/0,4)	24,00	575,00	0,35	keller/102- kellerwaende- ziegel; https://www.bauwi on.de/wissen/roh bau/bodenplatte-		
Innenputz	1,00	900,00	0,70	keller/105- abdichtung- schwarze- wanne); Wahl Verhältnis Ziegel zu Dünnbett- mörtel nach Her- stellerangaben (Wienerberger)				
CW 2002- _36 2020	x x x	Noppenbahn	0,13	960,00	-	Konstruktion für unbeheizten	138,5 1570,9 1793,0	125,6 1382,4 1560,1
		PE-HD- Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-	Keller; Dimensionierung in Anlehnung an		
		Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-	www.bauwion.de (https://www.bau		
		Außenputz	2,00	1800,00	1,00	wion.de/wissen/ro hbau/bodenplatte-		
		Hochlochziegel, Dämmstoff gefüllt (99,6/0,4)	49,00	575,00	0,35	keller/102- kellerwaende- ziegel; https://www.bauwi on.de/wissen/roh bau/bodenplatte-		
Innenputz	2,00	900,00	0,70	keller/105- abdichtung- schwarze- wanne); Wahl Verhältnis Ziegel zu Dünnbettmörtel nach Hersteller- angaben (Wienerberger)				

CW 2002- _37 2020	x	x	x	Noppenbahn	0,13	960,00	-	Konstruktion für unbeheizten Keller; Dimensionierung in Anlehnung an www.kalksandstein.de und www.bauwion.de (https://www.kalksandstein.de/entwurf-und-planung/bauteile/keller-und-kellerwaende/ ; https://www.bauwion.de/wissen/rohbau/bodenplatte-keller/105-abdichtung-schwarze-wanne)	112,1	1094,8	1246,0	102,6	955,9	1067,4
	x	x	x	PE-HD-Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-							
	x	x	x	Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
	x	x	x	Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
	x	x	x	Kalksandstein (99,2/0,8)	24,00	1800,00	0,99							
CW 2002- _38 2020				Noppenbahn	0,13	960,00	-	Konstruktion für unbeheizten Keller; Dimensionierung in Anlehnung an www.kalksandstein.de und www.bauwion.de (https://www.kalksandstein.de/entwurf-und-planung/bauteile/keller-und-kellerwaende/ ; https://www.bauwion.de/wissen/rohbau/bodenplatte-keller/105-abdichtung-schwarze-wanne)	149,6	1365,1	1563,3	140,1	1226,3	1384,8
				PE-HD-Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-							
				Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
				Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
				Kalksandstein (95/5)	36,50	1800,00	0,99							
	x	x	x	Innenputz	2,00	900,00	0,70							
CW 2002- _39 2020				Noppenbahn	0,13	960,00	-	Konstruktion für unbeheizten Keller; Dimensionierung in Anlehnung an www.ytong-silka.de und www.bauwion.de (https://baubuch.ytong-silka.de/konstruktionsbeispiele/gruendung/gruendung/#image-2 ; https://www.bauwion.de/wissen/rohbau/bodenplatte-keller/102-kellerwaende-ziegel/ ; https://www.bauwion.de/wissen/rohbau/bodenplatte-keller/105-abdichtung-schwarze-wanne)	110,0	1019,1	1182,7	100,3	877,1	1000,2
				PE-HD-Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-							
				Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
				Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
				Porenbeton P2 04 (99,2/0,8)	30,00	380,00	0,07/0,11							
				Innenputz	1,00	900,00	0,70							
	x	x	x											

A.2 Bilanzierte Altbaukonstruktionen

			Noppenbahn	0,13	960,00	-	Konstruktion für unbeheizten Keller;	168,1	1353,8	1585,1	158,2	1209,0	1398,9
			PE-HD-Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-	Dimensionierung in Anlehnung an						
			Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-	www.ytong-silka.de und						
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00	www.bauwion.de						
			Porenbeton P4 05 (95/5)	48,00	380,00	0,07/0,11	(https://baubuch.ytong-silka.de/konstrukti						
			Innenputz	2,00	900,00	0,70	onsbeispiele/gruendung/gruendung/#image-2;						
CW	2002- _40	2020					https://www.bauwion.de/wissen/rohbau/bodenplatte-keller/102-kellerwaende-ziegel;						
							https://www.bauwion.de/wissen/rohbau/bodenplatte-keller/105-abdichtung-schwarze-wanne); max. Steindicke nach Herstellerangaben						
			Noppenbahn	0,13	960,00	-	Konstruktion für unbeheizten Keller;	63,9	592,8	704,5	55,6	477,7	553,6
			Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-	Ausführung schwarze Wanne in Anlehnung an						
			Stahlbeton C20/25 (99/1)	20,00	2400,00	2,30	www.bauwion.de (https://www.bauwion.de/wissen/rohbau/bodenplatte-keller/105-abdichtung-schwarze-wanne);						
							Annahme: Mindestwanddicke 200 mm						
CW	2002- _41	2020											
			Noppenbahn	0,13	960,00	-	Ausführung weiße Wanne in Anlehnung an	135,7	1185,6	1490,0	124,3	1030,0	1285,0
			Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-	www.bauwion.de und						
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	35,00	2400,00	2,50	www.beton.org (https://www.bauwion.de/wissen/rohbau/bodenplatte-keller/106-abdichtung-weisse-wanne;						
			Innenputz	2,00	900,00	0,70	https://www.beton.org/fileadmin/beton-org/media/Dokumente/PDF/Service/Zementmerkbil%20C3%A4tter/H10.pdf); Annahme: maximale Wanddicke 350 mm						
CW	2002- _42	2020											
SCW	bis _1	1945	Vollziegel/Mörtel	25,50	575,00/ 2000,00	0,79	Gruhler et al., 2002, S. 31, 61	51,6	384,6	460,1	50,3	365,0	438,7
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
SCW	bis _2	1918	Vollziegel/Mörtel	19,00	575,00/ 2000,00	0,79	Gruhler et al., 2002, S. 31	39,3	294,1	351,6	38,3	279,5	335,6
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
SCW	1870- _3	1918	Vollziegel/Mörtel	32,00	575,00/ 2000,00	0,79	Gruhler et al., 2002, S. 41, 51	64,0	475,1	568,6	62,3	450,5	541,7
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
SCW	1870- _4	1918	Vollziegel/Mörtel	12,50	900,00	0,79	Gruhler et al., 2002, S. 41, 51	26,9	203,6	243,1	26,3	193,9	232,6
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
SCW	1919- _5	1945	Vollziegel/Mörtel	6,00	575,00/ 2000,00	0,79	Gruhler et al., 2002, S. 61	14,6	113,0	134,6	14,3	108,4	129,6
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							

SCW _6	1949- 1978	x x x	Vollziegel/Mörtel Innenputz	18,25 1,50	575,00/ 2000,00 900	0,79 0,70	Gruhler et al., 2002, S. 71; Maximaldicke	37,9 283,6 339,1	36,9 269,6 323,8
SCW _7	1949- 1978	x x x	Vollziegel/Mörtel Innenputz	12,00 1,50	575,00/ 2000,00 900	0,79 0,70	Gruhler et al., 2002, S. 71; Minstdicke	26,0 196,6 234,8	25,4 187,4 224,7
SCW _8	1949- 1978	x x x	Stahlbeton B15-B25 (95/5) Innenputz	11,30 1,50	2400,00 900,00	2,50 0,70	Gruhler et al., 2002, S. 81; Durchschnitts- dicke	53,2 526,1 720,7	51,0 496,1 680,6
SCW _9	1949- 1994	x x x x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3)	8,65	2400,00	2,50	Gruhler et al., 2002, S. 91; Durchschnitts- dicke; Bestim- mung der typischen Bau- altersklassen unter zusätz- licher Berück- sichtigung von www.ioer-bdat.de, Bauwerksdaten MFH für Ostdeutschland	29,4 262,4 356,4	27,6 239,0 325,1
SCW _10	1979- 1990	x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3)	11,20	2400,00	2,50	Gruhler et al., 2002, S. 100; Durchschnitts- dicke	38,0 339,7 461,4	35,7 309,4 420,9
SCW _11	1991- 2000	x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3) Innenputz	15,00 1,50	2400,00 900,00	2,50 0,70	Gruhler et al., 2002, S. 119	54,1 484,5 652,5	51,0 443,9 598,2
SCW _12	1961- 1990	x x x x	Beton B5-B20 Innenputz	20,00 1,50	2400,00 900,00	2,00 0,70	Gruhler et al., 2002, S. 129	40,0 227,6 272,8	35,7 171,8 198,2
SCW _13	1961- 1990	x x x x	Ziegelmauerwerk Innenputz	18,25 1,50	575,00/ 2000,00 900,00	0,79 0,70	Gruhler et al., 2002, S. 138	37,9 283,6 339,1	36,9 282,3 325,1
SCW _14	1961- 1990	x x x x	Hohlblockstein (75/25) Innenputz	18,25 1,50	501,00/ 2000,00 900,00	0,41 0,70	Gruhler et al., 2002, S. 138, 167	44,3 332,6 403,7	44,1 330,7 401,3
SCW _15	1991- 2000	x x	Hochlochziegel (75/25) Innenputz	18,25 1,50	575,00/ 2000,00 900,00	0,35 0,70	Gruhler et al., 2002, S. 148, 197	37,9 283,6 339,1	36,9 269,6 323,8
SCW _16	1961- 1990	x x x x	Stampfbeton B5-B20 Innenputz	20,00 1,50	2400,00 900,00	2,00 0,70	Gruhler et al., 2002, S. 157	40,0 227,6 272,8	35,7 171,8 198,2
SCW _17	1961- 2000	x x x x x	Schalsteine mit Betonfüllung B15 Innenputz	18,30 1,50	2400,00/ 2000,00 900,00	2,10 0,70	Gruhler et al., 2002, S. 177	43,3 247,9 301,9	40,9 216,9 260,8
SCW _18	1961- 1978	x x	Kalksandstein (75/25) Innenputz	18,30 1,50	1400,00/ 2000,00 900,00	0,70 0,70	Gruhler et al., 2002, S. 187	54,6 361,1 425,0	54,6 361,1 425,0
SCW _19	1991- 2000	x x	Hochlochziegel (75/25) Innenputz	18,30 1,50	575,00/ 2000,00 900,00	0,35 0,70	Gruhler et al., 2002, S. 197	38,0 284,3 339,9	37,0 270,2 324,6
SCW _20	2002- 2009	x	Mineralwolle (Außenwand) Hochlochziegel (51,6/48/0,4), Trennwand Innenputz	2,25 17,50 1,00	32,00 2000,00 900,00	0,04 0,67 0,70	Dimensionierung nach Hersteller- angaben (Schlagmann Poroton-S-Pz- Planziegel-175); Minstdicke	32,7 263,3 313,6	30,3 230,6 272,1
SCW _21	2010- 2015	x	Mineralwolle (Außenwand) Hochlochziegel (51,6/48/0,4), Trennwand Innenputz	3,00 17,50 1,00	32,00 2000,00 900,00	0,04 0,67 0,70	Dimensionierung nach Hersteller- angaben (Schlagmann Poroton-S-Pz- Planziegel-175); Minstdicke	33,8 276,4 328,8	31,4 243,7 287,3
SCW _22	2016- 2020	x	Mineralwolle (Außenwand) Hochlochziegel (51,6/48/0,4), Trennwand Innenputz	3,75 17,50 1,00	32,00 2000,00 900,00	0,04 0,67 0,70	Dimensionierung nach Hersteller- angaben (Schlagmann Poroton-S-Pz- Planziegel-175); Minstdicke	34,9 289,5 343,9	32,4 256,8 302,5
SCW _23	2002- 2009	x	Polystyrolämmung, XPS (KW) Hochlochziegel (51,6/48/0,4), Trennwand Innenputz	1,75 30,00 2,00	32,00 2000,00 900,00	0,04 0,72 0,70	Dimensionierung nach Hersteller- angaben (Schlagmann Poroton-S-Pz- Planziegel-300); Maximaldicke	58,6 489,4 572,5	52,7 408,0 468,8

A.2 Bilanzierte Altbaukonstruktionen

SCW _24	2010- 2015	x	Polystyrolämmung, XPS (KW) Hochlochziegel (51,6/48/0,4), Trennwand Innenputz	2,75 30,00 2,00	32,00 2000,00 900,00	0,04 0,72 0,70	Dimensionierung nach Hersteller- angaben (Schlagmann Poroton-S-Pz- Planziegel-300); Maximaldicke	62,9 546,5 633,3	56,0 450,6 511,0
SCW _25	2016- 2020	x	Polystyrolämmung, XPS (KW) Hochlochziegel (51,6/48/0,4), Trennwand Innenputz	3,50 30,00 2,00	32,00 2000,00 900,00	0,04 0,72 0,70	Dimensionierung nach Hersteller- angaben (Schlagmann Poroton-S-Pz- Planziegel-300); Maximaldicke	66,1 589,4 678,9	58,5 482,6 542,6
SCW _26	2002- 2009	x	Mineralwolle (Außenwand) Kalksandstein (99,2/0,8)	2,75 11,50	32,00 1800,00	0,04 0,99	Konstruktions- wahl in Anlehnung an www.kalksandstei n.de, zweischalige Haustrennwände (https://www.kalks andstein.de/entw urf-und- planung/bauteile/t ragende- innenwaende/); Mindestdicke	32,8 264,9 309,6	32,8 264,9 309,6
SCW _27	2010- 2015	x	Mineralwolle (Außenwand) Kalksandstein (99,2/0,8)	3,50 11,50	32,00 1800,00	0,04 0,99	Konstruktions- wahl in Anlehnung an www.kalksandstei n.de, zweischalige Haustrennwände (https://www.kalks andstein.de/entw urf-und- planung/bauteile/t ragende- innenwaende/); Mindestdicke	33,9 278,1 324,7	33,9 278,1 324,7
SCW _28	2016- 2020	x	Mineralwolle (Außenwand) Kalksandstein (99,2/0,8)	4,25 11,50	32,00 1800,00	0,04 0,99	Konstruktions- wahl in Anlehnung an www.kalksandstei n.de, zweischalige Haustrennwände (https://www.kalks andstein.de/entw urf-und- planung/bauteile/t ragende- innenwaende/); Mindestdicke	35,0 291,2 339,9	35,0 291,2 339,9
SCW _29	2002- 2009	x	Polystyrolämmung, XPS (KW) Kalksandstein (95/5) Innenputz	2,50 24,00 2,00	32,00 1800,00 900,00	0,04 0,99 0,70	Konstruktions- wahl in Anleh- nung an www.kalksandstei n.de, zweischalige Haustrennwände (https://www.kalks andstein.de/entw urf-und- planung/bauteile/t ragende- innenwaende/); Maximaldicke	76,4 631,5 724,8	73,9 595,3 678,2
SCW _30	2010- 2015	x	Polystyrolämmung, XPS (KW) Kalksandstein (95/5) Innenputz	3,50 24,00 2,00	32,00 1800,00 900,00	0,04 0,99 0,70	Konstruktions- wahl in Anleh- nung an www.kalksandstei n.de, zweischalige Haustrennwände (https://www.kalks andstein.de/entw urf-und- planung/bauteile/t ragende- innenwaende/); Maximaldicke	80,7 688,6 785,6	77,2 637,9 720,4

SCW _31	2016- 2020	x	Polystyrolämmung, XPS (KW)	4,25	32,00	0,04	Konstruktions- wahl in Anleh- nung an www.kalksandstei n.de, zweischalige Haustrennwände (https://www.kalks andstein.de/entw urf-und- planung/bauteile/t ragende- innenwaende/); Maximaldicke	83,9	731,5	831,2	79,7	669,9	752,0
			Kalksandstein (95/5)	24,00	1800,00	0,99							
			Innenputz	2,00	900,00	0,70							
SCW _32	2002- 2020	x x x	Luftsicht, ruhend	1,00	32,00	0,04	Konstruktions- wahl in Anlehnung an www.ytong- silka.de (https://baubuch.y tong- silka.de/konstrukt ionsbeispiele/inne nwand/innenwand 2/#image-8); Mindestdicke	34,8	227,9	281,8	34,6	226,1	279,5
			Porenbeton P2 04 (99,2/0,8)	17,50	380,00	0,11							
			Innenputz	1,00	900,00	0,70							
SCW _33	2002- 2020	x x x	Luftsicht, ruhend	1,00	-	-	Konstruktions- wahl in Anlehnung an www.ytong- silka.de; Maximaldicke	116,2	711,4	869,0	115,7	705,5	861,4
			Porenbeton P4 05 (95/5)	48,00	380,00	0,11							
			Innenputz	2,00	900,00	0,70							
SCW _34	2002- 2009	x	Mineralwolle (Außenwand)	3,00	32,00	0,04	Minimal konstruktiv ausführbare Wanddicke bei Ortbetonwänden (Betonierbarkeit)	39,7	303,3	385,8	36,5	261,8	330,4
			Stahlbeton C20/25 (99/1)	15,00	2400,00	2,30							
SCW _35	2010- 2015	x	Mineralwolle (Außenwand)	3,75	32,00	0,04	Minimal konstruktiv ausführbare Wanddicke bei Ortbetonwänden (Betonierbarkeit)	40,8	316,4	401,0	37,6	275,0	345,6
			Stahlbeton C20/25 (99/1)	15,00	380,00	2,30							
SCW _36	2016- 2020	x	Mineralwolle (Außenwand)	4,50	32,00	0,04	Minimal konstruktiv ausführbare Wanddicke bei Ortbetonwänden (Betonierbarkeit)	41,9	329,5	416,2	38,7	288,1	360,8
			Stahlbeton C20/25 (99/1)	15,00	380,00	2,30							
SCW _37	2002- 2009	x	Polystyrolämmung, XPS (KW)	3,00	32,00	0,04	Annahme: Maximaldicke Betonwand 300 mm	115,5	971,7	1233,8	106,2	846,2	1068,2
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	30,00	380,00	2,50							
			Innenputz	2,00	900,00	0,70							
SCW _38	2010- 2015	x	Polystyrolämmung, XPS (KW)	4,00	32,00	0,04	Annahme: Maximaldicke Betonwand 300 mm	119,7	1028,8	1294,6	109,5	888,8	1110,4
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	30,00	380,00	2,50							
			Innenputz	2,00	900,00	0,70							
SCW _39	2016- 2020	x	Polystyrolämmung, XPS (KW)	4,75	32,00	0,04	Annahme: Maximaldicke Betonwand 300 mm	123,0	1071,6	1340,2	112,0	920,8	1142,0
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	30,00	380,00	2,50							
			Innenputz	2,00	900,00	0,70							
SCW _40	2002- 2020	x x x	Hochlochziegel (51,6/48/0,4), Trennwand	17,50	2000,00	0,67	Konstruktion für unbeheizte Keller; Dimensionierung nach Herstellerangabe n (Schlagmann Poroton-S-Pz- Planziegel-175); Mindestdicke	29,5	223,9	268,1	27,0	191,2	226,6
			Innenputz	1,00	900,00	0,70							
	2002- 2020			Hochlochziegel (51,6/48/0,4), Trennwand	30,00	2000,00	0,67	Konstruktion für unbeheizte Keller; Dimensionierung nach Herstellerangabe n (Schlagmann Poroton-S-Pz- Planziegel-300); Maximaldicke	51,1	389,4	466,1	46,9	333,4
			Innenputz	2,00	900,00	0,70							
SCW _41	2002- 2020	x x x											

A.2 Bilanzierte Altbaukonstruktionen

SCW _42	2002- 2020		x	x	x	Kalksandstein (99,2/0,8)	11,50	1800,00	0,99	Konstruktion für unbeheizte Keller; Konstruk- tionswahl in Anlehnung an www.kalksandstei n.de, zweischalige Haustrennwände (https://www.kalks andstein.de/entw urf-und- planung/bauteile/t ragende- innenwaende/); Mindestdicke	28,8	216,8	253,9	28,8	216,8	253,9
						Kalksandstein (95/5) Innenputz	24,00 2,00	1800,00 900,00	0,99 0,70	Konstruktion für unbeheizte Keller; Konstruk- tionswahl in Anlehnung an www.kalksandstei n.de, zweischalige Haustrennwände (https://www.kalks andstein.de/entw urf-und- planung/bauteile/t ragende- innenwaende/); Maximaldicke	65,6	488,7	572,9	65,6	488,7	572,9
SCW _43	2002- 2020		x	x	x					Konstruktion für unbeheizte Keller; Konstruk- tionswahl in Anlehnung an www.kalksandstei n.de, zweischalige Haustrennwände (https://www.kalks andstein.de/entw urf-und- planung/bauteile/t ragende- innenwaende/); Maximaldicke						
						Porenbeton P2 04 (99,2/0,8) Innenputz	17,50 1,00	380,00 900,00	0,07/ 0,11 0,70	Konstruktion für unbeheizte Keller; Konstruk- tionswahl in Anlehnung an www.ytong- silka.de (https://baubuch.y tong- silka.de/konstrukt ionsbeispiele/inne nwand/innenwand 2/#image-8); Mindestdicke	34,8	227,9	281,8	34,6	226,1	279,5
SCW _44	2002- 2020		x	x	x					Konstruktion für unbeheizte Keller; Konstruk- tionswahl in Anlehnung an www.ytong- silka.de; Maximaldicke						
						Porenbeton P4 05 (95/5) Innenputz	48,00 2,00	380,00 900,00	0,07/ 0,11 0,70	Konstruktion für unbeheizte Keller; Konstruk- tionswahl in Anlehnung an www.ytong- silka.de; Maximaldicke	116,2	711,4	869,0	115,7	705,5	861,4
SCW _45	2002- 2020		x	x	x					Konstruktion für unbeheizte Keller; minimal konstruktiv ausführbare Wanddicke bei Ortbetonwänden (Betonierbarkeit)						
						Stahlbeton C20/25 (99/1)	15,00	380,00	2,30	Konstruktion für unbeheizte Keller; Maximal- dicke Betonwand 300 mm	35,4	250,7	325,1	32,2	209,3	269,7
SCW _46	2002- 2020		x	x	x	Stahlbeton C30/37 (98/2) Innenputz	30,00 2,00	380,00 900,00	2,50 0,70	Konstruktion für unbeheizte Keller; Maximal- dicke Betonwand 300 mm	102,6	800,3	1051,5	96,3	718,3	941,8
SCW _47	2002- 2020		x	x	x	Dielung/Bretterboden Schlacken- schüttung/-füllung Beton B5-B20 Hohlziegel Luftschicht, ruhend Beton B5-B20 Flachstahl Innenputz	2,60 8,00 2,00 9,00 3,00 2,60 0,50 1,50	484,54 1200,00 2400,00 575,00 - 2400,00 7850,00 900,00	- - - - - - - -		64,1	651,6	863,6	44,0	433,7	815,9
FLmas _1	1919- 1945	x				Estrich Schlacken- schüttung/-füllung Beton B5-B20 Hohlziegel Luftschicht, ruhend Beton B5-B20 Flachstahl Innenputz	3,50 8,00 2,00 9,00 3,00 2,60 0,50 1,50	2400,00 1200,00 2400,00 575,00 - 2400,00 7850,00 900,00	- - - - - - - -	Gruhler et al., 2002, S. 61	79,2	751,2	938,1	68,8	663,0	852,2
FLmas _2	1919- 1945	x				Estrich Schlacken- schüttung/-füllung Beton B5-B20 Hohlziegel Luftschicht, ruhend Beton B5-B20 Flachstahl Innenputz	3,50 8,00 2,00 9,00 3,00 2,60 0,50 1,50	2400,00 1200,00 2400,00 575,00 - 2400,00 7850,00 900,00	- - - - - - - -	Gruhler et al., 2002, S. 61						

FLmas 1949- _3 1978	x x x	Dielung/Bretterboden	2,60	484,54	-	Gruhler et al., 2002, S. 71; Dicke Fertigteil unter Berücksichtigung des Bewehrungs- gehalt	61,8	391,1	600,2	48,8	225,0	591,5							
		Vergussbeton B5	2,50	2000,00	-														
		Betonfertigteil B20	9,20	2520,00	-														
		Bewehrungsstahl	0,00	7850,00	-														
		Holzwohle- Leichtbauplatte	2,50	360,00	-														
Innenputz	1,50	900,00	-																
FLmas 1949- _4 1978	x x x	Estrich	3,50	2400,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 71; Dicke Fertigteil unter Berücksichtigung des Bewehrungs- gehalt	76,9	490,7	674,8	73,6	454,3	627,9							
		Vergussbeton B5	2,50	2000,00	-														
		Betonfertigteil B20	9,20	2520,00	-														
		Bewehrungsstahl	0,00	7850,00	-														
		Holzwohle- Leichtbauplatte	2,50	360,00	-														
Innenputz	1,50	900,00	-																
FLmas 1949- _5 1978	x x x	Estrich	3,50	2400,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 81	96,3	1170,4	1554,0	90,2	1099,0	1460,3							
		Holzwohle- Leichtbauplatte	3,00	360,00	-														
		Bitumendachpappe	0,40	1000,00	-														
		Hochofenschlacke	2,50	1200,00	-														
		Stahlbeton B20 (66/4)	19,00	2400,00	-														
Innenputz	1,50	900,00	-																
FLmas 1949- _6 1994	x x x x x	Estrich	3,50	2400,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 91	77,8	665,9	886,6	74,0	617,2	821,4							
		Stahlbeton B15-B25 (97/3)	18,00	2400,00	-														
FLmas 1979- _7 1990	x x	Estrich	3,50	2400,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 100	64,2	544,6	721,8	61,3	506,7	671,1							
		Stahlbeton B15-B25 (97/3)	14,00	2400,00	-														
FLmas 1979- _8 1990	x x	Estrich	3,50	2400,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 110	86,2	805,2	1065,6	82,9	762,3	1008,3							
		Mineralwolle (Boden)	5,00	85,00	-														
		Stahlbeton B15-B25 (96/4)	16,00	2400,00	-														
FLmas 1979- _9 1990	x x	Estrich	3,50	2400,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 110	72,9	657,7	906,7	69,4	614,0	848,5							
		Pappe	0,10	800,00	-														
		Glasvlies Decke	0,10	229,40	-														
		Hochofenschlacke	3,70	1200,00	-														
		Stahlbeton B15-B25 (96/4)	14,00	2400,00	-														
FLmas 1991- _10 2000	x x	Estrich	3,50	2400,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 120	83,3	756,6	1004,4	77,7	681,6	906,5							
		Estrichpapier	0,10	800,00	-														
		Dämmung DE und OGD, jüngere BK	3,00	85,00/ 18,50/ 160,00	-														
		PE-Folie Decke	0,10	930,00	-														
		Stahlbetondecke	16,00	2400,00	-														
		Innenputz	1,50	900,00	-														
FLmas 1961- _11 1990	x x x x	Estrich	3,50	2400,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 138	101,4	907,8	1279,4	94,7	826,5	1172,3							
		Holzwohle- Leichtbauplatte	2,50	360,00	-														
		Stahlbeton B15-B25 (96/4)	19,00	2400,00	-														
		Innenputz	1,50	900,00	-														
FLmas 1991- _12 2000	x x	Estrich	3,50	2400,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 148; durchschnittliche Dämmdicke	99,7	970,0	1598,3	93,7	775,0	1351,5							
		Spanplatten	2,00	633,31	-														
		Polystyrolämmung Decke und Boden, EPS, WLS 040	8,10	18,50	-														
		Stahlbeton B15-B25 (96/4)	16,00	2400,00	-														
		Innenputz	1,50	900,00	-														
FLmas 1961- _13 2000	x x x x x	Estrich	3,50	2400,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 158, 168, 177, 187	101,4	907,8	1279,4	94,7	826,5	1172,3							
		Holzwohle- Leichtbauplatte	2,50	360,00	-														
		Stahlbeton B15-B25 (96/4)	19,00	2400,00	-														
		Innenputz	1,50	900,00	-														
FLmas 1991- _14 2000	x x	Estrich	3,50	2400,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 197	96,2	935,4	1189,4	89,1	833,7	1067,7							
		Polystyrolämmung Decke und Boden, EPS, WLS 040	12,00	18,50	-														
		Stahlbeton B15-B25 (96/4)	16,00	2400,00	-														
		Innenputz	1,50	900,00	-														
FLmas 2002- _15 2020	x x x	Trockenestrich	2,50	800,00	-	Mindestdicke Stahlbeton nach Bautabellen für Ingenieure, 2012, S. 4.97 (l= 4 m; Zweifeldträger)	43,4	372,0	472,1	39,4	318,0	402,2							
		Polystyrolämmung Decke und Boden, EPS, WLS 040	2,00	18,50	-														
		Stahlbeton C20/25 (99/1)	16,00	2400,00	-														

A.2 Bilanzierte Altbaukonstruktionen

FLmas _16	2002- 2020	x x x	Zementestrich	7,50	2400,00	-	Maximaldicke Stahlbeton nach Bautabellen für Ingenieure, 2012, S. 4.96 (l= 6 m; Einfeldträger)	127,2	1009,1	1448,6	117,5	862,9	1257,1
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	5,00	160,00	-							
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	24,00	2400,00	-							
			Innenputz	2,00	900,00	-							
FL wood _1	bis 1918	x	Dielung/Bretterboden	2,40	484,51	-	Gruhler et al., 2002, S. 32; Annahme Holzbalkenanteil 12 %	21,2	220,1	484,4	-14,5	-249,3	569,4
			Holzwohle- Leichtbauplatte	2,50	360,00	-							
			Holzbalken	2,50	492,92	-							
			Sand/ Lehm/	1350,00/ 8,80	900,00/ 900,00	-							
			Schlacke		1200,00	-							
			Holzeinschub	1,80	484,54	-							
			Schalung	2,00	484,51	-							
			Innenputz	1,50	900,00	-							
FL wood _2	1870- 1918	x	Dielung/Bretterboden	2,40	484,51	-	Gruhler et al., 2002, S. 42, 52; Annahme Holzbalkenanteil 12 %	37,9	340,1	629,3	2,2	-129,4	714,3
			Estrich	3,50	2400,00	-							
			Holzwohle- Leichtbauplatte	2,50	360,00	-							
			Holzbalken	2,50	492,92	-							
			Sand/ Lehm/	1350,00/ 8,80	900,00/ 900,00	-							
			Schlacke		1200,00	-							
			Holzeinschub	1,80	484,54	-							
			Schalung	2,00	484,51	-							
Innenputz	1,50	900,00	-										
FL wood _3	2002- 2020	x x x	Trockenestrich	2,50	800,00	-	dataholz.eu, 2021, Bauteil gdstxx01-01; jedoch mit 20 mm TSD und als Schüttung wurden für ein Porenbetongranu- lat die geringsten Umweltwirkungen ermittelt; Abmessungen KVH nach Bautabellen für Ingenieure, 2012, S. 4.101 (Stützweite > 4 m; bxh = 100x200 mm, a= 100 cm)	11,8	184,8	327,7	-11,8	-132,2	397,1
			Polystyrolämmung Decke und Boden, EPS, WLS 040	2,00	18,50	-							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Schüttung, Porenbetongranulat	4,00	400,00	-							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Schalung	4,00	484,51	-							
			Konstruktionsvollholz	2,00	492,92	-							
FL wood _4	2002- 2020	x x x	Zementestrich	7,50	2400,00	-	dataholz.eu, 2021, Bauteil gdrnxa05b-13; jedoch ohne Federlagerung der abgehängten Decke, mit 75 mm Estrichdicke (Heizestrich), 50 mm Holzfaser- dämmung als TSD und 200 mm Holzfaserdäm- mung als Gefachdämmung, Abmessung BSH nach Bautabellen für Ingenieure, 2012, 4.101 (Stützweite < 6,5 m; bxh = 200x320 mm, a= 100 cm)	101,7	1211,7	2355,4	45,6	235,3	2002,3
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	5,00	160,00	-							
			OSB-Platte	2,20	600,00	-							
			Brettschichtholz	6,40	507,11	-							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	16,00	160,00	-							
			OSB-Platte	1,50	600,00	-							
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	-							

FL wood _5	2002-2020	x x x	Trockenestrich	2,50	800,00	-	dataholz.eu, 2021, Bauteil	29,1	418,5	771,4	-21,1	-342,8	905,6
			Polystyrolämmung				gdmtxn01-00;						
			Decke und Boden, EPS, WLS 040	2,00	18,50	-	jedoch mit EPS-statt MW-TSD in						
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-	20 mm Dicke und einer						
			Schüttung, Porenbetongranulat	4,00	400,00	-	Schüttungshöhe von 40 mm;						
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-	Abgleich						
Brettsper Holz	14,00	489,41	-	Mindestdicke Brettsper Holz mit Herstellerangaben (Binderholz)									
FL wood _6	2002-2020	x x x	Zementestrich	7,50	2400,00	-	dataholz.eu, 2021, Bauteil	145,1	1713,8	2796,7	49,0	239,4	2851,1
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-	gdmtx02a;						
			Holzfaserdämmung (TSD)	5,00	160,00	-	jedoch Holzfaser-statt MW-						
			Schüttung, Perlite 0-3	8,00	1000,00	-	Dämmung, statt						
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-	Split- eine Perlit-						
			Brettsper Holz	24,00	489,41	-	mit 80 mm statt						
			Lattung	0,58	484,51	-	Splittschüttung, Estrichdicke 75						
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	5,42	160,00	-	mm und doppelte						
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	-	Beplankung mit Gipsfaserplatten; maximale Brettsper Holz-dicke 240 mm nach Hersteller-angabe (Binderholz)						
TFL mas _1	1949-1957	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70		56,0	358,1	499,1	49,9	285,8	404,0
			Beton B5-B20	15,00	2400,00	1,51	ZUB, 2009b, S. 43						
			Dämmung DE und OGD, ältere BK schwimmender Estrich	2,50	30,00-200,00	0,09							
TFL mas _2	1958-1968	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70		60,3	389,7	578,1	52,5	299,2	459,6
			Beton B5-B20	15,00	2400,00	1,51	ZUB, 2009b, S. 44						
			Dämmung DE und OGD, ältere BK schwimmender Estrich	4,00	30,00-200,00	0,05							
TFL mas _3	1949-1968	x x	schwimmender Estrich	4,00	2400,00	1,40	ZUB, 2009b, S. 69;	70,0	592,1	783,7	66,9	551,5	729,4
			Stahlbeton	15,00	2000,00	1,05	Minimaldicke						
TFL mas _4	1949-1968	x x	schwimmender Estrich	5,00	2400,00	1,40	ZUB, 2009b, S. 69;	84,9	717,3	948,7	81,2	668,6	883,6
			Stahlbeton	18,00	2000,00	1,05	Maximaldicke						
TFL mas _5	1969-1978	x	schwimmender Estrich	4,00	2400,00	1,40	ZUB, 2009b, S. 70;	74,1	646,6	846,8	71,0	606,0	792,5
			Mineralwolle (Boden)	3,00	30,00-200,00	0,04	Minimaldicke						
			Stahlbeton	15,00	2000,00	1,05							
TFL mas _6	1969-1978	x	schwimmender Estrich	5,00	2400,00	1,40	ZUB, 2009b, S. 70;	80,2	699,1	909,3	77,1	658,5	855,0
			Mineralwolle (Boden)	4,00	30,00-200,00	0,04	Maximaldicke						
			Stahlbeton	15,00	2000,00	1,05							
TFL mas _7	1969-1978	x	schwimmender Estrich	4,00	2400,00	1,40	ZUB, 2009b, S. 71;	87,3	718,6	1099,7	77,3	605,1	951,6
			Dämmung DE und OGD, ältere BK	6,00	30,00-200,00	0,04	Minimaldicke						
			Stahlbeton	15,00	2000,00	1,05							
TFL mas _8	1969-1978	x	schwimmender Estrich	5,00	2400,00	1,40	ZUB, 2009b, S. 71;	92,0	752,9	1141,1	82,1	639,4	993,0
			Dämmung DE und OGD, ältere BK	6,00	30,00-200,00	0,04	Maximaldicke						
			Stahlbeton	15,00	2000,00	1,05							
TFL mas _9	1949-1968	x x	schwimmender Estrich	4,00	2400,00	1,40	ZUB, 2009b, S. 76;	64,6	549,6	722,3	61,9	514,4	675,3
			Steinwolle	1,00	30,00-200,00	0,04	Minimaldicke mit Steinwolle						
			Stahlbeton	13,00	2000,00	1,05							
TFL mas _10	1949-1968	x x	schwimmender Estrich	4,00	2400,00	1,40	ZUB, 2009b, S. 76;	66,1	552,5	754,0	62,2	505,2	691,3
			Holzwohle-Leichtbauplatte	1,00	30,00-200,00	0,09	Minimaldicke mit Holzwohle-Leichtbauplatten						
			Stahlbeton	13,00	2000,00	1,05							

A.2 Bilanzierte Altbaukonstruktionen

TFL mas _11	1949- 1968	x x	schwimmender Estrich	5,00	2400,00	1,40	ZUB, 2009b, S. 76;	77,5	662,7	867,2	74,4	622,1	812,9
			Steinwolle	2,00	30,00- 200,00	0,04	Maximaldicke mit Steinwolle						
			Stahlbeton	15,00	2000,00	1,05							
TFL mas _12	1949- 1968	x x	schwimmender Estrich	5,00	2400,00	1,40	ZUB, 2009b, S. 76;	80,5	668,5	930,5	75,1	603,6	844,9
			Holzwohle- Leichtbauplatte	2,00	30,00- 200,00	0,09	Maximaldicke mit Holzwohle- Leichtbauplatten						
			Stahlbeton	15,00	2000,00	1,05							
TFL mas _13	1958- 1978	x x	Schwimmender Estrich	6,00	2400,00	0,87	ZUB, 2009b, S. 101;	85,6	727,3	949,8	82,3	684,0	891,9
			Mineralwolle (Boden)	2,00	85,00	0,09	Minimaldicke mit Mineralwolle						
			Stahlbeton	16,00	2400,00	1,05							
TFL mas _14	1958- 1978	x x	Schwimmender Estrich	6,00	2400,00	0,87	ZUB, 2009b, S. 101;	88,4	763,7	991,9	85,1	720,4	934,0
			Mineralwolle (Boden)	4,00	85,00	0,09	Maximaldicke mit Mineralwolle						
			Stahlbeton	16,00	2400,00	1,05							
TFL mas _15	1958- 1978	x x	Schwimmender Estrich	6,00	2400,00	0,87	ZUB, 2009b, S. 101;	85,2	722,9	940,2	81,2	669,8	871,5
			Polystyrol- dämmung Decke und Boden, EPS, WLS 040	2,00	18,50	0,09	Minimaldicke mit EPS						
			Stahlbeton	16,00	2400,00	1,05							
TFL mas _16	1958- 1978	x x	Schwimmender Estrich	6,00	2400,00	0,87	ZUB, 2009b, S. 101;	87,5	754,8	972,6	82,9	691,9	893,2
			Polystyrol- dämmung Decke und Boden, EPS, WLS 040	4,00	18,50	0,09	Maximaldicke mit EPS						
			Stahlbeton	16,00	2400,00	1,05							
TFL mas _17	1949- 1957	x	Estrich	5,00	2400,00	0,87	ZUB, 2009b, S. 107	64,6	504,6	632,2	63,8	493,3	619,8
			Deckenziegel (Zwischenraum mit Beton verfüllt)	16,00	1400,00	0,60							
			Zementestrich	4,00	2400,00	0,87							
TFL mas _18	1969- 1978	x	Mineralwolle (Boden)	2,00	30,00- 200,00	0,04	ZUB, 2009b, S. 137	79,3	688,3	901,5	76,0	645,0	843,6
			Stahlbeton	16,00	2000,00	0,60							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
TFL mas _19	1969- 1994	x x x	Normalbeton	14,00	2400,00	1,51	ZUB, 2009b, S. 180	34,0	247,9	293,1	31,0	208,8	240,8
			Mineralwolle (Boden)	6,00	30,00- 200,00	0,04							
TFL mas _20	1971- 1990	x x x	Normalbeton	14,00	2400,00	1,51	ZUB, 2009b, S. 181	34,0	247,9	293,1	31,0	208,8	240,8
			Mineralwolle (Boden)	6,00	30,00- 200,00	0,04							
TFL mas _21	1981- 1990	x x	Normalbeton	14,00	2400,00	1,51	ZUB, 2009b, S. 182	34,0	247,9	293,1	31,0	208,8	240,8
			Mineralwolle (Boden)	6,00	30,00- 200,00	0,04							
TFL mas _22	1971- 1990	x x x	Normalbeton	14,00	2400,00	1,51	ZUB, 2009b, S. 183	34,0	247,9	293,1	31,0	208,8	240,8
			Mineralwolle (Boden)	6,00	30,00- 200,00	0,04							
TFL mas _23	1976- 1990	x x x	Normalbeton	14,00	2400,00	1,51	ZUB, 2009b, S. 184	34,0	247,9	293,1	31,0	208,8	240,8
			Mineralwolle (Boden)	6,00	30,00- 200,00	0,04							
TFL mas _24	1971- 1990	x x x	Normalbeton	14,00	2400,00	1,51	ZUB, 2009b, S. 185	34,0	247,9	293,1	31,0	208,8	240,8
			Mineralwolle (Boden)	6,00	30,00- 200,00	0,04							
TFL mas _25	1949- 1994	x x x x x	Bitumenbahn, Decke Mineralwolle (Innenausbau)	0,40	1000,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 91	84,6	1042,1	1276,0	80,9	993,3	1210,8
			Bitumenbahn, Decke	6,00	26,25	0,04							
			Estrich	0,50	1000,00	-							
			Stahlbeton B15-B25 (97/3)	3,50	2400,00	1,40							
			Stahlbeton B15-B25 (97/3)	18,00	2400,00	2,50							
TFL mas _26	1979- 1990	x x	Bitumendachpappe Mineralwolle (Innenausbau)	0,40	1000,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 100	53,9	762,4	926,9	51,0	724,5	876,2
			Mineralwolle	6,00	26,25	0,04							
			Stahlbeton B15-B25 (97/3)	14,00	2400,00	2,50							
TFL mas _27	1979- 1990	x x	Estrich	0,40	2400,00	1,40	Gruhler et al., 2002, S. 110	55,6	548,1	681,5	54,3	532,1	660,0
			Stahlbeton B15-B25 (96/4)	6,00	2400,00	2,50							
			Mineralwolle (Flachdach)	14,00	145,00	0,04							

TFL mas _28	1991- 2000	x x	Estrich	3,50	2400,00	1,40	Gruhler et al., 2002, S. 119	95,5	918,1	1224,3	89,5	836,6	1119,0
			Estrichpapier	0,10	800,00	-							
			Dämmung DE und OGD, jüngere BK	6,00	30,00- 200,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,10	930,00	-							
			Stahlbeton B15-B25 (96/4)	16,00	2400,00	2,50							
Innenputz	1,50	900,00	0,70										
TFL mas _29	2002- 2020	x x x	Mineralwolle (Boden)	19,00	85,00	0,04	Mindestdicke Stahlbeton nach Bautabellen für Ingenieure, 2012, S. 4.97 (l= 4 m; Zweifeldträger)	63,9	613,1	746,7	60,5	569,0	687,6
			Stahlbeton C20/25 (99/1)	16,00	2400,00	2,30							
TFL mas _30	2002- 2020	x x x	Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	Maximaldicke Stahlbeton nach Bautabellen für Ingenieure, 2012, S. 4.96 (l= 6 m; Einfeldträger)	119,5	1113,9	2040,8	98,0	763,8	1587,1
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	18,50	160,00	0,04							
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	24,00	2400,00	2,50							
			Innenputz	2,00	900,00	0,70							
TFL wood _1	bis 1948	x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 41, Sandschüttung; Annahme Holzbalkenanteil 12 %	11,8	175,7	367,1	-20,7	-258,3	489,0
			Schilfrohrmatte	1,00	100,00	0,08							
			Sparschalung	2,40	484,51	0,14							
			Holzbalken	1,90	492,92	0,14							
			Luftschicht, ruhend	4,00	-	0,18							
			Bretter	1,80	484,51	0,14							
			Sandschüttung Dielung/ Bretterboden	8,80	1350,00	0,58							
2,50	484,51	0,14											
TFL wood _2	bis 1948	x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 41, Schlacken- schüttung; Annahme Holzbalkenanteil 12 %	7,3	102,2	290,9	-25,0	-328,6	416,9
			Schilfrohrmatte	1,00	100,00	0,08							
			Sparschalung	2,40	484,51	0,14							
			Holzbalken	1,90	492,92	0,14							
			Luftschicht, ruhend	4,00	-	0,18							
			Bretter	1,80	484,51	0,14							
			Schlacken- schüttung/-füllung Dielung/Bretterboden	8,80	1350,00	0,58							
2,50	484,51	0,14											
TFL wood _3	1949- 1957	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 42, Annahme Holzbalkenanteil 12 %	21,4	187,5	484,1	-9,8	-214,2	505,5
			Holzwohle- Leichtbauplatte	5,00	360,00	0,09							
			Sparschalung	2,40	484,51	0,14							
			Holzbalken	1,90	492,92	0,14							
			Luftschicht, ruhend	16,00	-	-							
Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,14										
TFL wood _4	1958- 1968	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	ZUB, 2009b, S. 45, Annahme Holzbalkenanteil 12 %	25,8	219,2	563,1	-7,2	-200,8	561,1
			Holzwohle- Leichtbauplatte	3,00	360,00	0,09							
			Sparschalung	2,40	484,51	0,14							
			Holzbalken	1,90	492,92	0,14							
			Dämmung DE und OGD, ältere BK	3,50	30,00- 200,00	0,04							
			Luftschicht, ruhend	12,00	-	-							
Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,14										
TFL wood _5	1969- 1978	x	Gipskartonplatte	1,25	800,00	0,21	ZUB, 2009b, S. 46, Annahme Holzbalkenanteil 12 %	26,8	245,8	612,3	-6,7	-180,3	602,4
			Sparschalung	2,40	484,51	0,14							
			Holzbalken	1,90	492,92	0,14							
			Dämmung DE und OGD, ältere BK	7,00	30,00- 200,00	0,04							
			Luftschicht, ruhend	4,00	-	-							
Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,14										
TFL wood _6	1949- 1968	x x	Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,14	ZUB, 2009b, S. 72, Annahme Holzbalkenanteil 12 %	7,5	104,6	297,1	-25,6	-336,2	426,1
			Schlacken- schüttung/-füllung	10,00	1200,00	0,19							
			Bretter	2,00	484,51	0,14							
			Luftschicht, ruhend	4,00	-	0,16							
			Holzbalken	1,90	492,92	0,14							
			Sparschalung	2,40	484,51	0,14							
			Schilfrohrträger	1,00	100,00	0,08							
			Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70							

A.2 Bilanzierte Altbaukonstruktionen

TFL wood _7	1949- 1968	x x	Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,14	ZUB, 2009b, S. 74, Annahme Holzbalkenanteil 12 %	10,3	137,0	323,4	-18,4	-246,6	431,6
			Schlacken- schüttung/-füllung	1,70	k.A.	0,19							
			Lehmschlag	6,20	k.A.	0,70							
			Bretter	1,70	k.A.	0,14							
			Luftschrift, ruhend	4,00	-	0,16							
			Holzbalken	1,90	492,92	0,14							
			Lattung	1,50	k.A.	0,14							
Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70										
TFL wood _8	1969- 1978	x	Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,14	ZUB, 2009b, S. 75, minimale Dämmdicke; Annahme Holzbalkenanteil 12 %	9,1	121,5	227,6	-7,5	-99,7	292,0
			Luftschrift, ruhend	8,00	-	0,16							
			Mineralwolle (Innenausbau)	4,40	30,00- 200,00	0,04							
			Holzbalken	1,90	492,92	0,14							
			Gipskartonplatte	1,25	800,00	0,21							
			Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70							
TFL wood _9	1969- 1978	x	Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,14	ZUB, 2009b, S. 75, maximale Dämmdicke; Annahme Holzbalkenanteil 12 %	10,1	134,9	243,1	-6,4	-86,4	307,5
			Luftschrift, ruhend	11,00	-	0,61							
			Mineralwolle (Innenausbau)	7,00	30,00- 200,00	0,04							
			Holzbalken	1,90	492,92	0,14							
			Gipskartonplatte	1,25	800,00	0,21							
			Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70							
TFL wood _10	1969- 1978	x	Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,14	ZUB, 2009b, S. 102; Annahme Holzbalkenanteil 12 %	7,3	106,5	210,0	-9,2	-114,8	274,4
			Luftschrift, ruhend	10,00	-	0,16							
			Mineralwolle (Innenausbau)	5,30	30,00- 200,00	0,04							
			Holzbalken	1,90	492,92	0,14							
			Gipskartonplatte	1,25	800,00	0,21							
TFL wood _11	1958- 1968	x	Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,14	ZUB, 2009b, S. 103, minimale Dämmdicke; Annahme Holzbalkenanteil 12 %	13,8	129,3	302,8	-5,6	-122,3	328,1
			Luftschrift, ruhend	13,00	-	0,16							
			Mineralwolle (Innenausbau)	2,60	30,00- 200,00	0,04							
			Holzbalken	1,90	492,92	0,14							
			Holzwohle- Leichtbauplatte	2,50	360,00	0,09							
			Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70							
TFL wood _12	1958- 1968	x	Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,14	ZUB, 2009b, S. 103, maximale Dämmdicke; Annahme Holzbalkenanteil 12 %	14,2	134,0	308,1	-5,2	-117,7	333,4
			Luftschrift, ruhend	12,00	-	0,16							
			Mineralwolle (Innenausbau)	3,50	30,00- 200,00	0,04							
			Holzbalken	1,90	492,92	0,14							
			Holzwohle- Leichtbauplatte	2,50	360,00	0,09							
			Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70							
TFL wood _13	1949- 1957	x	Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,14	ZUB, 2009b, S. 104; Annahme Holzbalkenanteil 12 %	6,3	80,8	251,2	-26,0	-350,0	377,2
			Schlacken- schüttung/-füllung	7,00	-	0,19							
			Bretter	1,80	484,51	0,14							
			Luftschrift, ruhend	6,00	-	0,16							
			Holzbalken	1,90	492,92	0,14							
			Schalung	2,40	484,51	0,14							
TFL wood _14	1949- 1957	x	Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,14	ZUB, 2009b, S. 105; Annahme Holzbalkenanteil 12 %	4,9	62,4	197,7	-20,6	-278,6	297,3
			Luftschrift, ruhend	16,00	-	0,61							
			Holzbalken	1,90	492,92	0,14							
			Schalung	2,40	484,51	0,14							
TFL wood _15	bis 1948	x x	Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,13	ZUB, 2009b, S. 134, Schilfrohrträger; Holzbalkenanteil über U-Wert ermittelt: 10 %	17,4	209,4	412,9	-12,3	-187,6	519,9
			Lehmschüttung	10,80	1000,00	0,35							
			Bretter	1,80	484,51	0,14							
			Luftschrift, ruhend	6,00	-	0,18							
			Holzbalken	2,00	492,92	0,13							
			Schalung	1,50	484,51	0,13							
			Schilfrohrträger	1,50	100,00	0,08							
Kalkgipsputz	1,50	900,00	0,70										
TFL wood _16	bis 1948	x x	Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,13	ZUB, 2009b, S. 134, Spalierlatten; Holzbalkenanteil über U-Wert ermittelt: 10 %	20,0	220,2	430,3	-15,3	-251,7	559,4
			Lehmschüttung	10,80	1000,00	0,35							
			Bretter	1,80	484,51	0,14							
			Luftschrift, ruhend	6,00	-	0,37							
			Holzbalken	2,00	492,92	0,13							
			Schalung	1,50	484,51	0,13							
			Spalierlatten	1,50	k.A.	0,14							
Kalkgipsputz	1,50	900,00	0,70										

TFL wood _17	bis 1948	x x	Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,13	ZUB, 2009b, S. 135; Holzbalkenanteil über U-Wert ermittelt: 10 %	6,2	96,4	277,2	-23,1	-294,6	391,5
			Steinkohleschlacke	10,80	905,00	0,19							
			Bretter	1,80	484,51	0,13							
			Luftschrift, ruhend	6,00	-	0,37							
			Holzbalken	2,00	492,92	0,13							
			Schalung	1,50	484,51	0,13							
			Schilfrohrträger	1,50	100,00	0,08							
Innenputz	1,00	900,00	0,70										
TFL wood _18	bis 1918	x	Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,14	ZUB, 2009b, S. 136; Annahme Holzbalkenanteil: 10 %	16,8	228,8	610,4	-12,4	-161,3	713,4
			Lehmschlag	4,00	900,00/ 100,00	0,70							
			Lehmwickel	14,00	100,00/ 900,00/ 716,80	0,47							
			Holzbalken	2,00	492,92	0,14							
			Lattung	2,00	484,54	0,14							
			Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70							
			TFL wood _19	1961- 1990	x x x x	Schalung							
Mineralwolle (Innenausbau)	8,00	26,25				0,04							
Holzbalken	2,40	492,92				0,13							
Sparschalung	0,60	484,51				0,13							
Holzwohle- Leichtbauplatte	2,50	360,00				0,09							
Innenputz	1,50	900,00				0,70							
TFL wood _20	1961- 1990	x x x x				Sparschalung	0,60	484,51	0,13	Gruhler et al., 2002, S.138	16,9	164,3	331,6
			Mineralwolle (Innenausbau)	8,00	26,25	0,04							
			Holzbalken	2,50	492,92	0,13							
			Sparschalung	0,60	484,51	0,13							
			Holzwohle- Leichtbauplatte	2,50	360,00	0,09							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
			TFL wood _21	1961- 1990	x x x x	Schalung	2,00	484,54	0,13				
Mineralwolle (Innenausbau)	8,00	26,25				0,04							
Holzbalken	2,50	492,92				0,13							
Sparschalung	0,60	484,51				0,13							
Holzwohle- Leichtbauplatte	2,50	360,00				0,09							
Innenputz	1,50	900,00				0,70							
TFL wood _22	1961- 2000	x x x x x				Schalung	2,00	484,54	0,13	Gruhler et al., 2002, S.158; Maximaldicke	18,5	185,0	404,0
			Mineralwolle (Innenausbau)	8,00	26,25	0,04							
			Holzbalken	2,40	492,92	0,13							
			Sparschalung	2,00	484,51	0,13							
			Holzwohle- Leichtbauplatte	2,50	360,00	0,09							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
			TFL wood _23	1961- 2000	x x x x x	Schalung	2,00	484,54	0,13				
Mineralwolle (Innenausbau)	5,00	26,25				0,04							
Holzbalken	2,50	492,92				0,13							
Sparschalung	0,60	484,51				0,13							
Holzwohle- Leichtbauplatte	2,50	360,00				0,09							
Innenputz	1,50	900,00				0,70							
TFL wood _24	1961- 1978	x x				Schalung	0,60	484,54	0,13	Gruhler et al., 2002, S.187	13,1	169,2	271,3
			Mineralwolle (Innenausbau)	12,00	26,25	0,04							
			Holzbalken	2,50	492,92	0,13							
			Sparschalung	0,60	484,51	0,13							
			Gipskartonplatte	1,30	800,00	0,21							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
			TFL wood _25	2002- 2009	x	GKF-Platte	1,25	800,00	0,25				
OSB-Platte	1,80	600,00				0,13							
Konstruktionsvollholz	1,60	492,92				0,13							
Luftschrift, ruhend	7,36	-				0,49							
Zellulosefaser- Einblasdämmung	11,04	45,00				0,04							
OSB-Platte	1,50	600,00				0,13							
GKF-Platte	1,25	800,00				0,25							

A.2 Bilanzierte Altbaukonstruktionen

TFL wood _26	2010- 2020	x x	GKF-Platte	1,25	800,00	0,25	Eigene Annahme Ausführung minimale Umwelt- wirkungen; KVH nach Schneider Bautabelle, 2012, S. 4.101 (Stützweite < 4 m, bxh= 80x240 mm, a= 100 cm)	23,4	380,6	682,2	-1,1	-43,8	605,1
			OSB-Platte	1,80	600,00	0,13							
			Konstruktionsvollholz	1,68	492,92	0,13							
			Zellulosefaser- Einblasdämmung	19,32	45,00	0,04							
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
GKF-Platte	1,25	800,00	0,25										
TFL wood _27	2002- 2009	x	Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	Eigene Annahme Ausführung maximale Umwelt- wirkungen; BSH nach Schneider Bautabellen, 2012, S. 4.101 (Stützweite < 6.5 m, bxh= 200x320 mm, a= 100 cm)	54,6	832,1	1550,9	8,9	46,9	1433,4
			OSB-Platte	1,80	600,00	0,13							
			Brettschichtholz	6,40	507,11	0,13							
			Luftschicht, ruhend	16,00	-	1,23							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	9,60	160,00	0,04							
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
			Lattung	0,38	484,51	0,13							
			Luftschicht, ruhend	3,62	-	0,25							
Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35										
TFL wood _28	2010- 2020	x x	Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	Eigene Annahme Ausführung maximale Umwelt- wirkungen; BSH nach Schneider Bautabellen, 2012, S. 4.101 (Stützweite < 6.5 m, bxh= 200x320 mm, a= 100 cm)	66,8	978,2	1989,2	14,0	70,0	1713,5
			OSB-Platte	1,80	600,00	0,13							
			Brettschichtholz	6,40	507,11	0,13							
			Luftschicht, ruhend	8,00	-	0,61							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	17,60	160,00	0,04							
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
			Lattung	0,38	484,51	0,13							
			Luftschicht, ruhend	3,62	-	0,25							
Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35										
TFL wood _29	2002- 2009	x	Mineralwolle (Boden)	8,50	85,00	0,04	Eigene Annahme Ausführung minimale Umwelt- wirkungen; Minimaldicke Brettspertholz nach Herstelleranga- ben (Binderholz)	34,1	454,4	809,5	-15,2	-293,8	958,6
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Brettspertholz	14,00	489,41	0,13							
TFL wood _30	2010- 2020	x x	Mineralwolle (Boden)	15,00	85,00	0,04	Eigene Annahme Ausführung minimale Umwelt- wirkungen; Minimaldicke Brettspertholz nach Herstelleranga- ben (Binderholz)	43,0	572,7	946,3	-6,3	-175,5	1095,4
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Brettspertholz	14,00	489,41	0,13							
TFL wood _31	2002- 2009	x	Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	Eigene Annahme Ausführung maximale Umwelt- wirkungen; Maximaldicke Brettspertholz nach Herstelleranga- ben (Binderholz)	61,3	843,9	1665,4	-28,9	-528,0	1851,7
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	4,00	160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Brettspertholz	24,00	489,41	0,13							
			Lattung	0,58	484,51	0,13							
			Luftschicht, ruhend	5,42	-	0,37							
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
TFL wood _32	2010- 2020	x x	Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	Eigene Annahme Ausführung maximale Umwelt- wirkungen; Maximaldicke Brettspertholz nach Herstelleranga- ben (Binderholz)	71,9	971,7	2049,0	-24,4	-507,9	2096,8
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	11,00	160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Brettspertholz	24,00	489,41	0,13							
			Lattung	0,58	484,51	0,13							
			Luftschicht, ruhend	5,42	-	0,37							
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
CFL mas _1	1949- 1957	x	Estrich	1,00	2400,00	0,87	ZUB, 2009b, S. 9, minimale Dämmdicke	57,7	516,5	691,0	54,6	475,9	636,7
			Steinwolle	1,50	30,00- 200,00	0,04							
			Ortbetondecke	15,00	2400,00	1,51							
CFL mas _2	1949- 1957	x	Estrich	1,00	2400,00	0,87	ZUB, 2009b, S. 9, maximale Dämmdicke	59,1	534,7	712,0	56,0	494,1	657,8
			Steinwolle	2,50	30,00- 200,00	0,04							
			Ortbetondecke	15,00	2400,00	1,51							
CFL mas _3	bis 1948	x x	Dielung/Bretterboden	2,50	488,33	0,21	ZUB, 2009b, S. 47, mit Sandschüttung	31,0	295,5	401,1	17,1	108,8	436,6
			Lagerhölzer mit Sandschüttung	12,00	492,92/ 1350,00	0,14/ 0,58							
			Kappendecke aus Vollziegel (mit Stahlträgern)	12,00	1800,00/ 7850,00/ 2000,00	0,79							

CFL mas _4	bis 1948	x x	Dielung/Bretterboden	2,50	488,33	0,21	ZUB, 2009b, S. 47, mit Schlackenfüllung	25,3	203,3	305,4	11,7	20,7	346,1
			Lagerhölzer mit Schlackenfüllung	12,00	492,92/ 1200,00	0,14/ 0,42							
			Kappendecke aus Vollziegel (mit Stahlträgern)	12,00	1800,00/ 7850,00/ 2000,00	0,79							
CFL mas _5	1919- 1948	x	Verbundestrich	6,00	2400,00	0,87	ZUB, 2009b, S. 48	66,3	473,1	595,3	62,9	428,9	536,2
			Betondecke (99/1)	16,00	2300,00	1,51							
CFL mas _6	1919- 1957	x x	Dielung/Bretterboden	2,50	488,33	0,21	ZUB, 2009b, S. 49, Minimaldicke	39,4	288,7	420,2	25,9	109,3	400,9
			Lagerhölzer	3,50	484,51	0,14							
			Luftschicht, ruhend	3,50	-	-							
CFL mas _7	1919- 1957	x x	Betondecke (99/1)	16,00	2300,00	1,51	ZUB, 2009b, S. 49, Maximaldicke	44,1	322,1	463,6	30,2	137,2	436,9
			Dielung/Bretterboden	2,50	488,33	0,21							
			Lagerhölzer	3,50	484,51	0,14							
CFL mas _8	1949- 1957	x	Luftschicht, ruhend	3,50	-	-	ZUB, 2009b, S. 50, Minimaldicke	71,3	610,3	804,7	68,2	569,7	750,4
			Betondecke (97/3)	15,00	2400,00	1,51							
			Schwimmender Estrich	4,00	2400,00	1,40							
CFL mas _9	1949- 1957	x	Steinwolle	1,00	85,00	0,09	ZUB, 2009b, S. 50, Maximaldicke	76,1	644,5	846,2	73,0	603,9	791,9
			Betondecke (97/3)	15,00	2400,00	1,51							
			Schwimmender Estrich	5,00	2400,00	1,40							
CFL mas _10	1958- 1968	x	Steinwolle	2,50	30,00- 200,00	0,05	ZUB, 2009b, S. 51, minimale Dämmdicke	73,4	637,5	836,3	70,3	597,0	782,0
			Betondecke (97/3)	15,00	2400,00	1,51							
			Schwimmender Estrich	4,00	2400,00	0,87							
CFL mas _11	1958- 1968	x	Steinwolle	3,00	30,00- 200,00	0,05	ZUB, 2009b, S. 51, maximale Dämmdicke	74,1	646,6	846,8	71,0	606,0	792,5
			Betondecke (97/3)	15,00	2400,00	1,51							
			Schwimmender Estrich	4,00	2400,00	0,87							
CFL mas _12	1958- 1968	x	Steinwolle	2,50	30,00- 200,00	0,05	ZUB, 2009b, S. 51, minimale Dämmdicke, mit Putz	77,2	663,1	873,5	74,1	622,5	819,2
			Betondecke (97/3)	15,00	2400,00	1,51							
			Schwimmender Estrich	4,00	2400,00	0,87							
CFL mas _13	1958- 1968	x	Steinwolle	3,00	30,00- 200,00	0,05	ZUB, 2009b, S. 51, maximale Dämmdicke, mit Putz	77,9	672,2	884,0	74,8	631,6	829,7
			Betondecke (97/3)	15,00	2400,00	1,51							
			Schwimmender Estrich	4,00	2400,00	0,87							
CFL mas _14	1969- 1978	x	Steinwolle	4,00	30,00- 200,00	0,04	ZUB, 2009b, S. 52	72,1	634,5	826,7	69,2	596,6	776,0
			Betondecke (97/3)	14,00	2400,00	1,51							
			Schwimmender Estrich	4,00	2400,00	1,40							
CFL mas _15	1949- 1968	x x	Mineralwolle (Boden)	1,00	85,00	0,09	ZUB, 2009b, S. 66, minimale Dämmdicke	71,3	610,3	804,7	68,2	569,7	750,4
			Stahlbeton B15-B25 (97/3)	15,00	2400,00	1,05							
			Schwimmender Estrich	4,00	2400,00	1,40							
CFL mas _16	1949- 1968	x x	Mineralwolle (Boden)	3,00	85,00	0,09	ZUB, 2009b, S. 66, maximale Dämmdicke	89,0	771,9	1011,9	85,3	723,2	946,7
			Stahlbeton B15-B25 (97/3)	18,00	2400,00	1,05							
			Schwimmender Estrich	5,00	2400,00	1,40							
CFL mas _17	1949- 1968	x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3)	15,00	2400,00	1,05	ZUB, 2009b, S. 67, Minimaldicke	70,0	592,1	783,7	66,9	551,5	729,4
			Schwimmender Estrich	4,00	2400,00	1,40							
			Stahlbeton B15-B25 (97/3)	18,00	2400,00	1,05							
CFL mas _18	1949- 1968	x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3)	18,00	2400,00	1,05	ZUB, 2009b, S. 67, Maximaldicke	84,9	717,3	948,7	81,2	668,6	883,6
			Schwimmender Estrich	5,00	2400,00	1,40							
			Stahlbeton B15-B25 (97/3)	15,00	2400,00	1,05							
CFL mas _19	1969- 1978	x	Polystyrolämmung, XPS (KW)	2,00	30,00- 200,00	0,04	ZUB, 2009b, S. 68, Minimaldicke mit EPS	78,6	706,3	905,2	73,5	636,7	813,7
			Stahlbeton B15-B25 (97/3)	15,00	2400,00	1,05							
			Schwimmender Estrich	4,00	2400,00	1,40							
CFL mas _20	1969- 1978	x	Polystyrolämmung, XPS (KW)	4,00	30,00- 200,00	0,04	ZUB, 2009b, S. 68, Maximaldicke mit EPS	102,1	945,8	1191,8	94,4	839,2	1052,1
			Stahlbeton B15-B25 (97/3)	18,00	2400,00	1,05							
			Schwimmender Estrich	5,00	2400,00	1,40							

A.2 Bilanzierte Altbaukonstruktionen

CFL mas _21	1969- 1978	x	Schwimmender Estrich Mineralwolle (Boden) Stahlbeton B15-B25 (97/3)	4,00 2,00 15,00	2400,00 30,00- 200,00 2400,00	1,40 0,04 1,05	ZUB, 2009b, S. 68, Minimaldicke mit MW	72,7 628,4 825,8	69,6 587,9 771,5
CFL mas _22	1969- 1978	x	Schwimmender Estrich Mineralwolle (Boden) Stahlbeton B15-B25 (97/3)	5,00 4,00 18,00	2400,00 30,00- 200,00 2400,00	1,40 0,04 1,05	ZUB, 2009b, S. 68, minimale Dämmdicke MW	90,4 790,1 1032,9	86,7 741,4 967,8
CFL mas _23	1958- 1978	x x	Schwimmender Estrich Mineralwolle (Boden) Ortbetondecke	4,00 2,00 16,00	2400,00 85,00 2400,00	0,87 0,09 1,51	ZUB, 2009b, S. 100, maximale Dämmdicke MW	76,1 658,8 867,0	72,8 615,5 809,1
CFL mas _24	1958- 1978	x x	Schwimmender Estrich Mineralwolle (Boden) Ortbetondecke	4,00 4,00 16,00	2400,00 85,00 2400,00	0,87 0,09 1,51	ZUB, 2009b, S. 100, Maximaldicke mit MW	78,9 695,2 909,1	75,5 651,9 851,2
CFL mas _25	1969- 1978	x	Schwimmender Estrich Polystyrolämmung Decke und Boden, EPS, WLS 040 Ortbetondecke	4,00 2,00 16,00	2400,00 18,50 2400,00	0,87 0,09 1,51	ZUB, 2009b, S. 100, maximale Dämmdicke EPS	75,7 654,3 857,3	71,7 601,2 788,7
CFL mas _26	1969- 1978	x	Schwimmender Estrich Polystyrolämmung Decke und Boden, EPS, WLS 040 Ortbetondecke	4,00 4,00 16,00	2400,00 18,50 2400,00	0,87 0,09 1,51	ZUB, 2009b, S. 100, Maximaldicke mit EPS	78,0 686,3 889,7	73,4 623,4 810,4
CFL mas _27	bis 1918	x	Dielung/Bretterboden Holzbalken mit Steinkohleschlacke Kappendecke aus Vollziegel (mit Stahlträgern)	2,50 8,00 10,00	488,33 492,92/ 905,00 1800,00	0,21 0,14/ 0,19 0,81	ZUB, 2009b, S. 141	21,1 168,4 257,9	8,7 3,5 295,6
CFL mas _28	1969- 1978	x	Zementestrich Mineralwolle (Boden) Stahlbeton B15-B25 (97/3)	4,00 2,00 16,00	2400,00 30,00- 200,00 2400,00	1,40 0,09 2,50	ZUB, 2009b, S. 142, MW-Dämmung	76,1 658,8 867,0	72,8 615,5 809,1
CFL mas _29	1969- 1978	x	Zementestrich Polystyrolämmung Decke und Boden, EPS, WLS 040 Stahlbeton B15-B25 (97/3)	4,00 2,00 16,00	2400,00 30,00- 200,00 2400,00	1,40 0,09 2,50	ZUB, 2009b, S. 142, EPS-Dämmung	75,7 654,3 857,3	71,7 601,2 788,7
CFL mas _30	1969- 1978	x	Zementestrich Stahlbeton B15-B25 (97/3)	4,00 16,00	2400,00 2400,00	1,40 2,50	ZUB, 2009b, S. 143	73,4 622,4 824,9	70,0 579,1 767,0
CFL mas _31	1919- 1948	x	Zementestrich Stahlprofil Hourdis-Stein (Hohlziegel)	6,00 0,16 6,00	2400,00 7850,00 750,00	1,40 50,00 0,45	ZUB, 2009b, S. 144, Annahme IPE 120 gemäß Zeichnung, a= 85 cm	48,8 423,5 521,7	46,0 401,7 502,2
CFL mas _32	1949- 1978	x x x	Zementestrich Dämmung KD, ältere BK Deckenziegel (Zwischenraum mit Beton verfüllt)	4,00 1,00 19,00	2400,00 30,00- 200,00 575,00/ 2000,00/ 7850,00	1,40 0,04 0,79	ZUB, 2009b, S. 145	70,3 553,9 723,2	68,3 528,3 692,8
CFL mas _33	1949- 1978	x x x	Zementestrich Deckenziegel (Zwischenraum mit Beton verfüllt)	4,00 19,00	2400,00 575,00/ 2000,00/ 7850,00	1,40 0,79	ZUB, 2009b, S. 146	67,4 532,9 670,5	66,5 519,4 655,8
CFL mas _34	1949- 1968	x x	Zementestrich Dämmung KD, ältere BK Füllkörper aus Bimsstein	2,00 1,00 23,00	2400,00 30,00- 200,00 k.A.	1,40 0,04 0,72	ZUB, 2009b, S. 147	64,0 449,7 605,9	62,6 433,7 585,3
CFL mas _35	bis 1968	x x x x	Dielung/Bretterboden Lagerhölzer mit Sandschüttung Kappendecke aus Beton (mit Stahlträgern)	2,50 3,50 12,00	488,33 492,92/ 1350,00/ 2400,00/ 7874,00/ 7850,00	0,21 0,14/ 0,58 3,21	ZUB, 2009b, S. 168	26,0 216,7 304,8	14,9 67,5 334,1

A.2 Bilanzierte Altbaukonstruktionen

CFL mas _47	2010- 2015	x	Trockenestrich	2,50	800,00	0,25	Eigene Annahme Ausführung minimale Umwelt- wirkungen; Minimaldicke Stahlbeton nach Bautabellen für Ingenieure, 2012, S. 4.97 (Zweifeldträger mit l= 4 m)	66,7	580,6	734,3	63,3	536,4	675,2
			Mineralwolle (Boden)	2,00	85,00	0,04							
			Stahlbeton C20/25 (99/1)	16,00	2400,00	2,30							
			Mineralwolle (Innenausbau)	5,00	26,25	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							
CFL mas _48	2016- 2020	x	Trockenestrich	2,50	800,00	0,25	Eigene Annahme Ausführung minimale Umwelt- wirkungen; Minimaldicke Stahlbeton nach Bautabellen für Ingenieure, 2012, S. 4.97 (Zweifeldträger mit l = 4 m)	67,3	588,3	743,2	63,9	544,1	684,1
			Mineralwolle (Boden)	2,00	85,00	0,04							
			Stahlbeton C20/25 (99/1)	16,00	2400,00	2,30							
			Mineralwolle (Innenausbau)	6,50	26,25	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							
CFL mas _49	2002- 2009	x	Zementestrich	7,50	2400,00	1,40	Eigene Annahme Ausführung maximale Umwelt- wirkungen; Minimaldicke Stahlbeton nach Bautabellen für Ingenieure, 2012, S. 4.96 (Einfeld- träger mit l= 6 m)	145,2	1166,6	1680,2	134,6	1005,0	1469,0
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	5,00	160,00	0,04							
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	24,00	2400,00	2,50							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	1,00	160,00	0,04							
CFL mas _50	2010- 2015	x	Zementestrich	7,50	2400,00	1,40	Eigene Annahme Ausführung maximale Umwelt- wirkungen; Minimaldicke Stahlbeton nach Bautabellen für Ingenieure, 2012, S. 4.96 (Einfeld- träger mit l= 6 m)	148,2	1203,1	1789,8	135,9	1010,7	1539,0
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	5,00	160,00	0,04							
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	24,00	2400,00	2,50							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	3,00	160,00	0,04							
CFL mas _51	2016- 2020	x	Zementestrich	7,50	2400,00	1,40	Eigene Annahme Ausführung maximale Umwelt- wirkungen; Minimaldicke Stahlbeton nach Bautabellen für Ingenieure, 2012, S. 4.96 (Einfeld- träger mit l= 6 m)	150,5	1230,5	1872,0	136,8	1015,1	1591,5
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	5,00	160,00	0,04							
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	24,00	2400,00	2,50							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	4,50	160,00	0,04							
CFL wood _1	1919- 1957	x x	Dielung/Bretterboden	2,50	488,33	0,14	ZUB, 2009b, S. 138, Annahme Holzbalkenanteil 12 %	5,4	70,5	209,3	-20,5	-275,9	310,4
			Holzbalken	2,40	492,92	0,14							
			Steinkohleschlacke	10,60	905,00	0,19							
			Bretter	2,00	484,51	0,14							
CFL wood _2	1919- 1957	x x	Dielung/Bretterboden	2,50	488,33	0,14	ZUB, 2009b, S. 139, Annahme Holzbalkenanteil 12 %	15,3	171,8	331,2	-11,0	-180,6	425,1
			Holzbalken	2,40	492,92	0,14							
			Lehmschüttung	10,60	900,00	0,35							
			Bretter	2,00	484,51	0,14							
CFL wood _3	1919- 1957	x x	Dielung/Bretterboden	2,50	488,33	0,14	ZUB, 2009b, S. 140, Annahme Holzbalkenanteil 12 %	11,0	160,7	303,0	-15,3	-189,7	399,0
			Holzbalken	2,40	492,92	0,14							
			Sandschüttung	10,60	1350,00	0,58							
			Bretter	2,00	484,51	0,14							
CFL wood _4	bis 1918	x	Dielung/Bretterboden	2,50	488,33	0,21	ZUB, 2009b, S. 166, Annahme Holzbalkenanteil 12 %	10,8	167,5	368,5	-13,7	-159,5	455,1
			Holzbalken	1,90	492,92	0,14							
			Lehmschlag	14,10	900,00/ 100,00	0,70							
			Bretter	2,00	484,51	0,14							
CFL wood _5	bis 1948	x x	Dielung/Bretterboden	2,50	488,33	0,21	ZUB, 2009b, S. 167, Annahme Holzbalkenanteil 12 %	12,4	185,7	318,6	-12,1	-140,5	405,6
			Holzbalken	1,90	492,92	0,14							
			Sandschüttung	14,10	1350,00	0,58							
			Bretter	2,00	484,51	0,14							

CFL wood _6	2002-2015	x	x	Trockenestrich	2,50	800,00	0,25	dataholz.eu,	25,0	453,3	654,1	3,7	72,1	658,2
				Mineralwolle (Boden)	2,00	85,00	0,04	2021, Bauteil						
				OSB-Platte	1,80	600,00	0,13	gdrxa03a-05,						
				Konstruktionsvollholz	2,00	492,92	0,13	jedoch mit OSB-Platte, statt						
				Luftschicht, ruhend	13,50	-	0,81	Sparschalung, um						
				Zellulosefaser-Einblasdämmung	4,50	45,00	0,04	Luftdichtheit zu gewährleisten;						
				PE-Folie Decke	0,02	930,00	-	Minimalabmes-						
				OSB-Platte	1,50	600,00	0,13	sungen KVH nach						
GKF-Platte	1,25	800,00	0,25	Bautabellen für Ingenieure, 2012, S. 4.101 (Stützweite < 4 m, bxh = 100x200 mm, a= 100 cm)										
CFL wood _7	2016-2020	x		Trockenestrich	2,50	800,00	0,25	dataholz.eu,	25,2	454,1	662,5	3,6	69,2	661,7
				Mineralwolle (Boden)	2,00	85,00	0,04	2021, Bauteil						
				OSB-Platte	1,80	600,00	0,13	gdrxa03a-05,						
				Konstruktionsvollholz	2,00	492,92	0,13	jedoch mit OSB-Platte, statt						
				Luftschicht, ruhend	12,60	-	0,76	Sparschalung, um						
				Zellulosefaser-Einblasdämmung	5,40	45,00	0,04	Luftdichtheit zu gewährleisten;						
				PE-Folie Decke	0,02	930,00	-	Minimalabmes-						
				OSB-Platte	1,50	600,00	0,13	sungen KVH nach						
GKF-Platte	1,25	800,00	0,25	Bautabellen für Ingenieure, 2012, S. 4.101 (Stützweite < 4 m, bxh = 100x200 mm, a= 100 cm)										
CFL wood _8	2002-2015	x	x	Zementestrich	7,50	2400,00	1,40	dataholz.eu,	79,7	948,7	1566,3	36,4	193,8	1498,1
				PE-Folie Decke	0,02	930,00	-	2002, Bauteil						
				Holzfaserdämmung (TSD)	5,00	160,00	0,04	gdrnxa05b-13, jedoch ohne						
				OSB-Platte	2,20	600,00	0,13	Federlagerung der abgehängten						
				Brettschichtholz	6,40	507,11	0,13	Decke, mit 75 mm						
				Luftschicht, ruhend	24,00	-	1,64	Estrichdicke						
				Holzfaserdämmung (Innenausbau)	1,60	160,00	0,04	(Heizestrich), 50 mm Holzfaser-						
				OSB-Platte	1,50	600,00	0,13	dämmung als						
Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	TSD und 240 mm Holzfaserdämmung als Gefachdämmung; Maximalabmessungen BSH nach Bautabellen für Ingenieure, 2012, S. 4.101 (Stützweite l= 6,5 m, bxh=200x320 mm, a= 100 cm)										
CFL wood _9	2016-2020	x		Zementestrich	7,50	2400,00	1,40	dataholz.eu,	80,9	963,3	1610,2	36,9	196,1	1526,1
				PE-Folie Decke	0,02	930,00	-	2002, Bauteil						
				Holzfaserdämmung (TSD)	5,00	160,00	0,04	gdrnxa05b-13, jedoch ohne						
				OSB-Platte	2,20	600,00	0,13	Federlagerung der abgehängten						
				Brettschichtholz	6,40	507,11	0,13	Decke, mit 75 mm						
				Luftschicht, ruhend	23,20	-	1,58	Estrichdicke						
				Holzfaserdämmung (Innenausbau)	2,40	160,00	0,04	(Heizestrich), 50 mm Holzfaser-						
				OSB-Platte	1,50	600,00	0,13	dämmung als						
Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	TSD und 240 mm Holzfaserdämmung als Gefachdämmung; Maximalabmessungen BSH nach Bautabellen für Ingenieure, 2012, S. 4.101 (Stützweite l= 6,5 m, bxh=200x320 mm, a= 100 cm)										

A.2 Bilanzierte Altbaukonstruktionen

CFL wood _10	2002-2015	x x	Trockenestrich	2,50	800,00	0,25	dataholz.eu, 2021, Bauteil	31,2	458,6	826,9	-18,3	-292,9	971,9
			Mineralwolle (Boden)	2,00	85,00	0,04	gdmtxn01-00,						
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-	jedoch mit einer						
			Schüttung, Porenbetongranulat	4,00	400,00	0,09	Schüttungshöhe von 40 mm und zusätzlicher						
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-	unterseitiger						
Brettsper Holz	14,00	489,41	0,13	Dämmung, um									
GKF-Platte	1,25	800	0,25	U-Wert zu erreichen; Schüttung nach Herstellerangaben (Ytong Dämmschüttung); Minimale Brettsper Holzdicke gemäß Herstellerangabe									
CFL wood _11	2016-2020	x	Trockenestrich	2,50	800,00	0,25	dataholz.eu, 2021, Bauteil	32,6	476,8	848,0	-16,9	-274,7	992,9
			Mineralwolle (Boden)	3,00	85,00	0,04	gdmtxn01-00,						
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-	jedoch mit einer						
			Schüttung, Porenbetongranulat	4,00	400,00	0,09	Schüttungshöhe von 40 mm und zusätzlicher						
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-	unterseitiger						
			Brettsper Holz	14,00	489,41	0,13	Dämmung, um						
			GKF-Platte	1,25	800	0,25	U-Wert zu erreichen; Schüttung nach Herstellerangaben (Ytong Dämmschüttung); Minimale Brettsper Holzdicke gemäß Herstellerangaben (Binderholz)						
CFL wood _12	2002-2015	x x	Zementestrich	7,50	2400,00	1,40	dataholz.eu, 2021, Bauteil	86,1	944,5	1687,7	-0,3	-371,6	1900,3
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-	gdmnxa02a, aber						
			Holzfaserdämmung (TSD)	2,00	160,00	0,04	Holzfaser- statt						
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-	MW-Dämmungen, Perlit-						
			Brettsper Holz	24,00	489,41	0,13	statt Splitt-						
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	schüttung mit 80 mm, Estrichdicke						
							75 mm und doppelte Beplankung mit Gipsfaserplatten; maximale Brettsper Holzdicke nach Herstellerangaben (Binderholz)						
CFL wood _13	2016-2020	x	Zementestrich	7,50	2400,00	1,40	dataholz.eu, 2021, Bauteil	86,9	953,7	1715,1	0,0	-370,2	1917,8
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-	gdmnxa02a, aber						
			Holzfaserdämmung (TSD)	2,50	160,00	0,04	Holzfaser- statt						
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-	MW-						
			Brettsper Holz	24,00	489,41	0,13	Dämmungen, Perlit- statt						
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	Splittschüttung mit 80 mm, Estrichdicke						
							75 mm und doppelte Beplankung mit Gipsfaserplatten; maximale Brettsper Holzdicke nach Herstellerangaben (Binderholz)						
BP _1	bis 1948	x x	Dielung/Bretterboden	2,50	488,33	0,21	ZUB, 2009b,	2,7	33,7	106,0	-11,0	-147,9	159,0
			Holzbalken	1,12	492,92	0,14	S. 53, Holzbalken-						
			Luftschicht, ruhend	14,88	-	-	dicke ergibt sich aus vorgegebenen U-Wert						
BP _2	1919-1948	x	Verbundestrich	6,00	2400,00	1,40	ZUB, 2009b,	58,0	364,1	439,1	54,6	319,5	379,4
			Beton B5-B20	16,00	2400,00	1,51	S. 54						

BP _3	1949- 1957	x	Estrich Dämmung BO (unspezifisch) Betondecke (97/3)	5,00 1,00 15,00	2400,00 30,00- 200,00 2400,00	1,40 0,09 1,51	ZUB, 2009b, S. 55	77,6 647,4 877,8	73,4 594,7 807,9
BP _4	1958- 1968	x	Schwimmender Estrich Dämmung BO (unspezifisch) Betondecke (97/3)	4,00 3,00 15,00	2400,00 30,00- 200,00 2400,00	0,87 0,05 1,51	ZUB, 2009b, S. 56	78,6 655,3 941,7	72,1 578,3 840,5
BP _5	1969- 1978	x	Schwimmender Estrich Dämmung BO (unspezifisch) Betondecke (97/3)	4,00 4,00 14,00	2400,00 30,00- 200,00 2400,00	1,40 0,04 1,51	ZUB, 2009b, S. 57	78,1 646,1 953,2	70,6 559,6 840,0
BP _6	1870- 1978	x x x x x	Estrich Stampfbeton B5-B20 Kies unter Bodenplatte	3,50 10,00 15,00	2400,00 2400,00 1850,00	1,40 2,00 -	Gruhler et al., 2002, S. 31, 41, 51, 61, 71, 81	46,3 403,4 456,1	43,6 367,9 409,0
BP _7	1870- 1918	x	Ziegelpflaster Stampfbeton B5-B20 Kies unter Bodenplatte	8,00 10,00 15,00	1850,00 2400,00 1850,00	k.A. 2,00 -	Gruhler et al., 2002, S. 31, 41, 51	69,7 817,4 887,3	66,7 778,9 836,4
BP _8	1949- 1994	x x x x x	Estrich Stampfbeton B5-B20 Kies unter Bodenplatte	3,50 10,00 15,00	2400,00 2400,00 1850,00	1,40 2,00 -	Gruhler et al., 2002, S. 91	46,3 403,4 456,1	43,6 367,9 409,0
BP _9	1979- 1990	x x	Estrich Stahlbeton B15-B25 (97/3) Kies unter Bodenplatte	3,50 50,00 15,00	2400,00 2400,00 1850,00	1,40 2,50 -	Gruhler et al., 2002, S. 100	197,7 1820,9 2397,0	186,7 1678,0 2206,3
BP _10	1979- 1990	x x	Estrich Stahlbeton B15-B25 (96/4) Kies unter Bodenplatte	3,50 100,00 15,00	2400,00 2400,00 1850,00	1,40 2,50 -	Gruhler et al., 2002, S. 109; Maximaldicke	419,2 4018,3 5433,2	398,1 3742,9 5065,3
BP _11	1991- 2000	x x	Estrich Stahlbeton B15-B25 (98/2) Kies unter Bodenplatte	3,50 10,00 15,00	2400,00 2400,00 1850,00	1,40 2,50 -	Gruhler et al., 2002, S. 119	56,7 539,5 651,4	54,0 504,6 605,0
BP _12	1961- 1990	x x x x	Estrich Stampfbeton B5-B20 Kies unter Bodenplatte	3,50 10,00 15,00	2400,00 2400,00 1850,00	1,40 2,00 -	Gruhler et al., 2002, S. 129	46,3 403,4 456,1	43,6 367,9 409,0
BP _13	1991- 2000	x x	Estrich Beton B5-B20 Kies unter Bodenplatte	3,50 10,00 15,00	2400,00 2400,00 1850,00	1,40 2,00 -	Gruhler et al., 2002, S. 138, 157, 167, 177, 187	46,3 403,4 456,1	43,6 367,9 409,0
BP _14	1991- 2000	x x	Estrich PE-Folie Decke Stahlbeton B15-B25 (96/4) Kies unter Bodenplatte	3,50 0,20 10,00 15,00	2400,00 1000,00 2400,00 1850,00	1,40 - 2,50 -	Gruhler et al., 2002, S. 148	76,0 802,6 982,3	70,8 730,9 888,7
BP _15	1991- 2000	x x	Estrich PE-Folie Decke Beton B5-B20 Kies unter Bodenplatte	3,50 0,20 10,00 15,00	2400,00 1000,00 2400,00 1850,00	1,40 - 2,00 -	Gruhler et al., 2002, S. 197	55,2 530,3 591,8	50,0 457,4 496,7
BP _16	2002- 2009	x	Zementestrich PE-Folie Decke Mineralwolle (Boden) PE-Folie Decke Stahlbeton C20/25 (99/1) PE-Folie Bodenplatte Polystyrolämmung, XPS (BO) Sauberkeitsschicht	5,00 0,02 5,00 0,02 20,00 0,02 1,00 5,00	2400,00 930,00 85,00 930,00 2400,00 26,25 32,00 2400,00	1,40 - 0,04 - 2,30 - 0,04 -	Eigene Annahme Ausführung minimale Umwelt- wirkungen; Plattengründung, kein stauendes Sickerwasser	91,2 703,3 866,4	84,8 618,4 753,7
BP _17	2010- 2015	x	Zementestrich PE-Folie Decke Mineralwolle (Boden) PE-Folie Decke Stahlbeton C20/25 (99/1) PE-Folie Bodenplatte Polystyrolämmung, XPS (BO) Sauberkeitsschicht	5,00 0,02 5,00 0,02 20,00 0,02 3,00 5,00	2400,00 930,00 85,00 930,00 2400,00 26,25 32,00 2400,00	1,40 - 0,04 - 2,30 - 0,04 -	Eigene Annahme Ausführung minimale Umwelt- wirkungen; Plattengründung, kein stauendes Sickerwasser	95,5 760,4 927,1	88,1 661,1 795,8

A.2 Bilanzierte Altbaukonstruktionen

BP _18	2016- 2020	x	Zementestrich	5,00	2400,00	1,40	Eigene Annahme Ausführung minimale Umwelt- wirkungen; Plattengründung, kein stauendes Sickerwasser	97,6	789,0	957,5	89,8	682,4	816,9
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Mineralwolle (Boden)	5,00	85,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Stahlbeton C20/25 (99/1)	20,00	2400,00	2,30							
			PE-Folie Bodenplatte	0,02	26,25	-							
			Polystyrolämmung, XPS (BO)	4,00	32,00	0,04							
Sauberkeitsschicht	5,00	2400,00	-										
BP _19	2002- 2009	x	Zementestrich	7,50	2400,00	1,40	Eigene Annahme Ausführung maximale Umwelt- wirkungen; Plattengründung bei ungünstigem Untergrund und hohen Gründungslasten, Ausführung als WU-Beton	224,2	1778,0	2333,1	207,9	1552,8	2035,7
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	2,00	160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	50,00	2400,00	2,50							
			PE-Folie Bodenplatte	0,02	26,25	-							
			Polystyrolämmung, XPS (BO)	4,50	32,00	0,04							
Sauberkeitsschicht	5,00	2400,00	-										
BP _20	2010- 2015	x	Zementestrich	7,50	2400,00	1,40	Eigene Annahme Ausführung maximale Umwelt- wirkungen; Plattengründung bei ungünstigem Untergrund und hohen Gründungslasten, Ausführung als WU-Beton	228,5	1835,1	2393,8	211,2	1595,4	2077,8
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	2,00	160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	50,00	2400,00	2,50							
			PE-Folie Bodenplatte	0,02	26,25	-							
			Polystyrolämmung, XPS (BO)	6,50	32,00	0,04							
Sauberkeitsschicht	5,00	2400,00	-										
BP _21	2016- 2020	x	Zementestrich	7,50	2400,00	1,40	Eigene Annahme Ausführung maximale Umwelt- wirkungen; Plattengründung bei ungünstigem Untergrund und hohen Gründungslasten, Ausführung als WU-Beton	231,7	1878,0	2439,4	213,7	1627,4	2109,5
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	2,00	160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	50,00	2400,00	2,50							
			PE-Folie Bodenplatte	0,02	26,25	-							
			Polystyrolämmung, XPS (BO)	8,00	32,00	0,04							
Sauberkeitsschicht	5,00	2400,00	-										
BP _22	2002- 2020	x x x	Zementestrich	5,00	2400,00	-	Eigene Annahmen Ausführung minimale Umwelt- wirkungen bei unbeheiztem Keller, Plattengründung, kein stauendes Sickerwasser	83,8	606,2	753,0	77,5	521,6	642,5
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Polystyrolämmung Decke und Boden, EPS, WLS 040	2,00	18,50	-							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Stahlbeton C20/25 (99/1)	20,00	2400,00	-							
			Sauberkeitsschicht	5,00	2400,00	-							
BP _23	2002- 2020	x x x	Zementestrich	7,50	2400,00	-	Eigene Annahmen Ausführung maximale Umwelt- wirkungen bei unbeheiztem Keller, Platten- gründung bei ungünstigem Untergrund und hohen Grün- dungslasten, Ausführung als WU-Beton	218,2	1691,6	2347,1	201,7	1456,5	2037,1
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	5,00	160,00	-							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	50,00	2400,00	-							
			Sauberkeitsschicht	5,00	2400,00	-							
F_1	1870- 1978	x x x x x	Ziegelmauerwerk Fundament	60,00	575,00/ 2000,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 31, 41, 51, 61, 71	114,0	835,5	1001,4	110,8	789,4	951,0
F_2	1870- 1978	x x x x x	Bruchsteinmauer- werk Fundament	60,00	1400,00/ 2000,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 31, 41, 51, 61, 71	59,3	392,4	505,9	59,3	392,4	505,9
F_3	1870- 1978	x x x x x	Stampfbeton B5-B20	60,00	2400,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 31, 41, 51, 61, 71	110,4	594,4	714,8	97,6	427,0	491,0
F_4	1949- 1978	x x x	Stahlbeton B15-B25 (96/4)	42,00	2400,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 81	164,3	1559,9	2140,4	155,7	1447,4	1990,0
F_5	1949- 1994	x x x x x	Stahlbeton B15-B25 (96/4)	60,00	2400,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 91	234,7	2228,4	3057,8	222,4	2067,7	2842,8
F_6	1991- 2000	x x	Stahlbeton	44,00	2400,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 119	149,3	1334,6	1812,8	140,2	1215,5	1653,6

F_7	1961-2000	x x x x x	Stahlbeton	34,00	2400,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 129, 157, 167	115,4	1031,3	1400,8	108,3	939,3	1277,8
F_8	1961-1990	x x x x	Stahlbeton	36,00	2400,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 138	122,2	1091,9	1483,2	114,7	994,5	1352,9
F_9	1991-2000	x x	Stahlbeton	35,00	2400,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 148	118,8	1061,6	1442,0	111,5	966,9	1315,3
F_10	1961-2000	x x x x x	Stampfbeton B5-B20	34,00	2400,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 187	62,6	336,8	405,1	55,3	242,0	278,2
F_11	1991-2000	x x	Stampfbeton B5-B20	35,00	2400,00	-	Gruhler et al., 2002, S. 197	64,4	346,7	417,0	56,9	249,1	286,4

Bauteilaufbauten – Erklärung Farbschema:

Bezeichnung der Bauteilschichten und ihrer Eigenschaften wie in Literatur und Quellenangaben

Änderungen (Homogenisierung der Materialbezeichnungen, Ergänzung/Homogenisierung von Schichtdicken, Rohdichten und Wärmeleitfähigkeiten)

A.2 Bilanzierte Altbaukonstruktionen

Tabelle A. 5: Übersicht über die bilanzierten Fensterkonstruktionen im Altbau inklusive der spezifischen Materialkennwerte und Umweltwirkungen; eigene Darstellung

Bau- teil- name	Zeit- raum	Zugehörige Baualterklassen										Aufbau				Literaturquelle	GWP (A-C) [kg CO ₂ - Äq.]	PENRT (A-C) [MJ]	PET (A-C) [MJ]	GWP (A-D) [kg CO ₂ - Äq.]	PENRT (A-D) [MJ]	PET (A-D) [MJ]
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Material- bezeichnung	Fläche [m ²]	Lauf- meter [lfm]							
Walu _1	bis 1978			x	x	x	x					Einfachverglasung	0,9	-	-	- Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017 und BMWI & BMI, 2020	53,9	720,1	861,4	38,7	517,2	592,8
												Aluminium- Blendrahmen	0,1	0,8								
												Aluminium- Flügelrahmen	0,1	0,8								
												Fugendichtungsband	0,4	4,0	0,11							
												Fenstergriff	-	-	0,06							
										Fensterbeschlag, Doppelflügel Fenster	-	-	0,56									
Walu _2	bis 1978			x	x	x	x					Einfachverglasung	0,4	-	-	- Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017 und BMWI & BMI, 2020	142,8	1960,1	2505,3	64,4	918,3	1122,2
												Aluminium- Blendrahmen	0,3	4,8								
												Aluminium- Flügelrahmen	0,3	4,8								
												Fugendichtungsband	0,4	4,0	0,11							
												Fenstergriff	-	-	0,06							
										Fensterbeschlag, Doppelflügel Fenster	-	-	0,56									
Walu _3	bis 1979			x	x	x	x	x	x			Einfachverglasung	1,8	-	-	- Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017 und BMWI & BMI, 2020	116,5	1560,6	1888,4	79,6	1069,9	1245,7
												Aluminium- Blendrahmen	0,1	1,6								
												Aluminium- Flügelrahmen	0,1	1,6								
												Fugendichtungsband	0,8	8,0	0,22							
												Fenstergriff	-	-	0,11							
										Fensterbeschlag, Doppelflügel Fenster	-	-	0,56									
										Fensterbeschlag, Drehklappenfenster	-	-	0,56									
Walu _4	bis 1979			x	x	x	x	x	x			Einfachverglasung	0,8	-	-	- Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017 und BMWI & BMI, 2020	294,3	4040,6	5176,1	131,1	1872,1	2304,5
												Aluminium- Blendrahmen	0,6	9,6								
												Aluminium- Flügelrahmen	0,6	9,6								
												Fugendichtungsband	0,8	8,0	0,22							
												Fenstergriff	-	-	0,11							
										Fensterbeschlag, Doppelflügel Fenster	-	-	0,56									
										Fensterbeschlag, Drehklappenfenster	-	-	0,56									
Walu _5	1978 - 2002					x	x	x	x	x		Isolierverglasung	0,9	-	-	- Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017	93,8	1238,1	1461,7	68,7	905,6	1028,3
												Aluminium- Blendrahmen, thermisch getrennt	0,1	0,8								
												Aluminium- Flügelrahmen, thermisch getrennt	0,1	0,8								
												Fugendichtungsband	0,4	4,0	0,11							
												Fenstergriff	-	-	0,06							
										Fensterbeschlag, Drehklappenfenster	-	-	0,56									
Walu _6	1978 - 2002					x	x	x	x	x		Isolierverglasung	0,4	-	-	- Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017	203,2	2759,3	3461,9	98,3	1364,5	1617,5
												Aluminium- Blendrahmen, thermisch getrennt	0,3	4,8								
												Aluminium- Flügelrahmen, thermisch getrennt	0,3	4,8								
												Fugendichtungsband	0,4	4,0	0,11							
												Fenstergriff	-	-	0,06							
										Fensterbeschlag, Drehklappenfenster	-	-	0,56									
Walu _7	1990- 2020					x	x	x	x	x		WDG, zweifach	0,9	-	-	- Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017	115,1	1436,3	1687,7	88,7	1085,3	1230,5
												Aluminium- Blendrahmen, thermisch getrennt	0,1	0,8								
												Aluminium- Flügelrahmen, thermisch getrennt	0,1	0,8								
												Fugendichtungsband	0,4	4,0	0,11							
												Fenstergriff	-	-	0,06							
										Fensterbeschlag, Drehklappenfenster	-	-	0,56									

Walu _8	1990 - 2020	x x x x x	WDG, zweifach	0,40	-	-	- Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017	212,7	2847,4	3562,3	107,3	1444,3	1707,4
			Aluminium- Blendrahmen, thermisch getrennt	0,30	4,80	-							
			Aluminium- Flügelrahmen, thermisch getrennt	0,30	4,80	-							
			Fugendichtungsband	0,40	4,00	0,11							
			Fenstergriff	-	-	0,06							
			Fensterbeschlag, Drehkipfenster	-	-	0,56							
Walu _9	2005 - 2020	x x x	WDG, dreifach	0,90	-	-	- Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017	155,5	1923,6	2223,0	127,9	1554,1	1742,0
			Aluminium- Blendrahmen, thermisch getrennt	0,05	0,80	-							
			Aluminium- Flügelrahmen, thermisch getrennt	0,05	0,80	-							
			Fugendichtungsband	0,40	4,00	0,11							
			Fenstergriff	-	-	0,06							
			Fensterbeschlag, Drehkipfenster	-	-	0,56							
Walu _10	2005 - 2020	x x x	WDG, dreifach	0,40	-	-	- Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017	230,7	3064,0	3800,2	124,7	1652,7	1934,7
			Aluminium- Blendrahmen, thermisch getrennt	0,30	4,80	-							
			Aluminium- Flügelrahmen, thermisch getrennt	0,30	4,80	-							
			Fugendichtungsband	0,40	4,00	0,11							
			Fenstergriff	-	-	0,06							
			Fensterbeschlag, Drehkipfenster	-	-	0,56							
Wplas _1	1954 - 1978	x x x	Einfachverglasung	0,90	-	-	- Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017 und BMWI & BMI, 2020	75,4	940,0	1061,4	62,1	802,4	906,8
			Kunststoff- Blendrahmen	0,05	0,80	-							
			Kunststoff- Flügelrahmen	0,05	0,80	-							
			Fugendichtungsband	0,40	4,00	0,11							
			Fenstergriff	-	-	0,06							
			Fensterbeschlag, Doppelflügel Fenster	-	-	0,56							
Wplas _2	1954 - 1978	x x x	Einfachverglasung	0,40	-	-	- Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017 und BMWI & BMI, 2020	271,7	3279,8	3704,8	205,2	2629,5	3006,2
			Kunststoff- Blendrahmen	0,30	4,80	-							
			Kunststoff- Flügelrahmen	0,30	4,80	-							
			Fugendichtungsband	0,40	4,00	0,11							
			Fenstergriff	-	-	0,06							
			Fensterbeschlag, Doppelflügel Fenster	-	-	0,56							
Wplas _3	1954 - 1978	x x x x	Einfachverglasung	1,80	-	-	- Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017 und BMWI & BMI, 2020	159,5	2000,5	2288,2	126,5	1640,3	1873,7
			Kunststoff- Blendrahmen	0,10	1,60	-							
			Kunststoff- Flügelrahmen	0,10	1,60	-							
			Fugendichtungsband	0,80	8,00	0,22							
			Fenstergriff	-	-	0,11							
			Fensterbeschlag, Doppelflügel Fenster	-	-	0,56							
Wplas _4	1954 - 1978	x x x x	Einfachverglasung	0,80	-	-	- Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017 und BMWI & BMI, 2020	552,2	6680,0	7575,1	412,6	5294,5	6072,6
			Kunststoff- Blendrahmen	0,60	9,60	-							
			Kunststoff- Flügelrahmen	0,60	9,60	-							
			Fugendichtungsband	0,80	8,00	0,22							
			Fenstergriff	-	-	0,11							
			Fensterbeschlag, Doppelflügel Fenster	-	-	0,56							
Fensterbeschlag, Drehkipfenster	-	-	0,56										

A.2 Bilanzierte Altbaukonstruktionen

Wplas _5	1978 - 2002	x x x x x	Isolierverglasung	0,90	-	-	Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017	108,5 1367,7 1554,0	88,6 1145,1 1294,0
			Kunststoff- Blendrahmen	0,05	0,80	-			
			Kunststoff- Flügelrahmen	0,05	0,80	-			
			Fugendichtungsband	0,40	4,00	0,11			
			Fenstergriff	-	-	0,06			
			Fensterbeschlag, Drehkipfenster	-	-	0,56			
			Isolierverglasung	0,40	-	-			
Kunststoff- Blendrahmen	0,30	4,80	-						
Kunststoff- Flügelrahmen	0,30	4,80	-						
Fugendichtungsband	0,40	4,00	0,11						
Fenstergriff	-	-	0,06						
Fensterbeschlag, Drehkipfenster	-	-	0,56						
WDG, zweifach	0,90	-	-	Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017	129,8 1565,9 1780,0	108,7 1324,8 1496,2			
Kunststoff- Blendrahmen	0,05	0,80	-						
Kunststoff- Flügelrahmen	0,05	0,80	-						
Fugendichtungsband	0,40	4,00	0,11						
Fenstergriff	-	-	0,06						
Fensterbeschlag, Drehkipfenster	-	-	0,56						
WDG, zweifach	0,40	-	-				Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017	300,8 3624,9 4116,1	227,1 2881,4 3301,6
Kunststoff- Blendrahmen	0,30	4,80	-						
Kunststoff- Flügelrahmen	0,30	4,80	-						
Fugendichtungsband	0,40	4,00	0,11						
Fenstergriff	-	-	0,06						
Fensterbeschlag, Drehkipfenster	-	-	0,56						
WDG, dreifach	0,90	-	-	Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017	170,2 2053,2 2315,3	147,9 1793,6 2007,7			
Kunststoff- Blendrahmen	0,05	0,80	-						
Kunststoff- Flügelrahmen	0,05	0,80	-						
Fugendichtungsband	0,40	4,00	0,11						
Fenstergriff	-	-	0,06						
Fensterbeschlag, Drehkipfenster	-	-	0,56						
WDG, dreifach	0,40	-	-				Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017	318,8 3841,4 4354,0	244,6 3089,8 3528,9
Kunststoff- Blendrahmen	0,30	4,80	-						
Kunststoff- Flügelrahmen	0,30	4,80	-						
Fugendichtungsband	0,40	4,00	0,11						
Fenstergriff	-	-	0,06						
Fensterbeschlag, Drehkipfenster	-	-	0,56						
Einfachverglasung	0,90	-	-	Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017 und BMWI & BMI, 2020	45,5 614,2 965,6	37,7 499,8 817,3			
Holz-Blendrahmen	0,05	0,80	-						
Holz-Flügelrahmen	0,05	0,80	-						
Fugendichtungsband	0,40	4,00	0,11						
Fenstergriff	-	-	0,06						
Fensterbeschlag, Doppelflügel Fenster	-	-	0,56						
Einfachverglasung	0,40	-	-				Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017 und BMWI & BMI, 2020	92,4 1324,8 3130,5	58,8 814,2 2469,0
Holz-Blendrahmen	0,30	4,80	-						
Holz-Flügelrahmen	0,30	4,80	-						
Fugendichtungsband	0,40	4,00	0,11						
Fenstergriff	-	-	0,06						
Fensterbeschlag, Doppelflügel Fenster	-	-	0,56						
Einfachverglasung	1,80	-	-	Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017 und BMWI & BMI, 2020	99,8 1348,8 2096,8	77,7 1035,2 1694,6			
Holz-Blendrahmen	0,10	1,60	-						
Holz-Flügelrahmen	0,10	1,60	-						
Fugendichtungsband	0,80	8,00	0,22						
Fenstergriff	-	-	0,11						
Fensterbeschlag, Doppelflügel Fenster	-	-	0,56						
Fensterbeschlag, Drehkipfenster	-	-	0,56						

W wood _4	bis 1979	x x x x x x	Einfachverglasung	0,80	-	-	Eigene Annahme - in Anlehnung an - Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017 und BMWI & BMI, 2020	193,7	2770,1	6426,5	119,9	1663,9	4998,1
			Holz-Blendrahmen	0,60	9,60	-							
			Holz-Flügelrahmen	0,60	9,60	-							
			Fugendichtungsband	0,80	8,00	0,22							
			Fenstergriff	-	-	0,11							
			Fensterbeschlag, Doppelflügel Fenster	-	-	0,56							
W wood _5	1978 - 2002	x x x x x	Isolierverglasung	0,90	-	-	Eigene Annahme - in Anlehnung an - Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017	78,6	1041,9	1458,2	64,2	842,6	1204,4
			Holz-Blendrahmen	0,05	0,80	-							
			Holz-Flügelrahmen	0,05	0,80	-							
			Fugendichtungsband	0,40	4,00	0,11							
			Fenstergriff	-	-	0,06							
			Fensterbeschlag, Drehkippfenster	-	-	0,56							
W wood _6	1978 - 2002	x x x x x	Isolierverglasung	0,40	-	-	Eigene Annahme - in Anlehnung an - Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017	112,0	1581,8	3441,4	71,8	986,3	2674,5
			Holz-Blendrahmen	0,30	4,80	-							
			Holz-Flügelrahmen	0,30	4,80	-							
			Fugendichtungsband	0,40	4,00	0,11							
			Fenstergriff	-	-	0,06							
			Fensterbeschlag, Drehkippfenster	-	-	0,56							
W wood _7	1990- 2020	x x x x x	WDG, zweifach	0,90	-	-	Eigene Annahme - in Anlehnung an - Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017	99,9	1240,0	1684,3	84,3	1022,2	1406,7
			Holz-Blendrahmen	0,05	0,80	-							
			Holz-Flügelrahmen	0,05	0,80	-							
			Fugendichtungsband	0,40	4,00	0,11							
			Fenstergriff	-	-	0,06							
			Fensterbeschlag, Drehkippfenster	-	-	0,56							
W wood _8	1990- 2020	x x x x x	WDG, zweifach	0,40	-	-	Eigene Annahme - in Anlehnung an - Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017	121,5	1669,9	3541,8	80,8	1066,1	2764,4
			Holz-Blendrahmen	0,30	4,80	-							
			Holz-Flügelrahmen	0,30	4,80	-							
			Fugendichtungsband	0,40	4,00	0,11							
			Fenstergriff	-	-	0,06							
			Fensterbeschlag, Drehkippfenster	-	-	0,56							
W wood _9	2005- 2020	x x x	WDG, dreifach	0,90	-	-	Eigene Annahme - in Anlehnung an - Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017	140,3	1727,3	2219,6	123,5	1491,0	1918,1
			Holz-Blendrahmen	0,05	0,80	-							
			Holz-Flügelrahmen	0,05	0,80	-							
			Fugendichtungsband	0,40	4,00	0,11							
			Fenstergriff	-	-	0,06							
			Fensterbeschlag, Drehkippfenster	-	-	0,56							
W wood _10	2005- 2020	x x x	WDG, dreifach	0,40	-	-	Eigene Annahme - in Anlehnung an - Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017	139,5	1886,5	3779,7	98,2	1274,5	2991,7
			Holz-Blendrahmen	0,30	4,80	-							
			Holz-Flügelrahmen	0,30	4,80	-							
			Fugendichtungsband	0,40	4,00	0,11							
			Fenstergriff	-	-	0,06							
			Fensterbeschlag, Drehkippfenster	-	-	0,56							
W wood _11	2014- 2020	x x	Einfachverglasung	0,90	-	-	Eigene Annahme - in Anlehnung an - Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017	145,4	1854,2	2649,9	122,0	1522,0	2224,0
			WDG, zweifach	0,90	-	-							
			Holz-Blendrahmen	0,10	1,60	-							
			Holz-Flügelrahmen	0,10	1,60	-							
			Fugendichtungsband	0,80	8,00	0,22							
			Fenstergriff	-	-	0,11							
W wood _12	2014- 2020	x x	Einfachverglasung	0,40	-	-	Eigene Annahme - in Anlehnung an - Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017	214,0	2994,7	6672,4	139,6	1880,3	5233,4
			WDG, zweifach	0,40	-	-							
			Holz-Blendrahmen	0,60	9,60	-							
			Holz-Flügelrahmen	0,60	9,60	-							
			Fugendichtungsband	0,80	8,00	0,22							
			Fenstergriff	-	-	0,11							

Bauteilaufbauten – Erklärung Farbschema:

Eigene Annahmen in Anlehnung an die Literaturquellen

A.3 Bilanzierte Neubaukonstruktionen

Nachfolgend werden alle bilanzierten Neubaukonstruktionen beschrieben. Die Gliederung erfolgt nach Bauteil und typischer Baualtersklasse. Unter Angabe der schichtspezifischen Materialien, ihrer Rohdichten und Wärmeleitfähigkeiten sowie der verwendeten Literaturquellen sind die lebenszyklusbasierten Umweltwirkungen jeder Baukonstruktion dargestellt.

Tabelle A. 6: Übersicht über die bilanzierten opaken Neubaukonstruktionen inklusive der spezifischen Materialkennwerte und Umweltwirkungen; eigene Darstellung

Bauteilname	Zeitraum	Neubau	Aufbau				Literaturquelle	GWP	PENRT	PET	GWP	PENRT	PET
			Materialbezeichnung	Stärke [cm]	Rohdichte [kg/m³]	λ-Wert [W/mK]		(A-C) [kg CO ₂ -Äq.]	(A-C) [MJ]	(A-C) [MJ]	(A-D) [kg CO ₂ -Äq.]	(A-D) [MJ]	(A-D) [MJ]
PRO_h_1	ab 2021	x	Blecheindeckung (Edelstahl)	0,04	7900,00	-	- dataholz.eu, 2021, Bauteil sdrhbi01a-04; Trennlage nach Herstellerangabe für BauderTOP VENT NSK	32,2	380,9	784,3	-8,5	-165,3	710,6
			Strukturierte Trennlage (Kunststoffaservlies)	0,16	81,25	-							
			Schalung	2,40	484,51	-							
			Konterlattung	0,24	484,51	-							
			Unterdeckbahn	0,02	262,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	0,13							
			Konstruktionsvollholz	2,50	492,92	0,13							
			Zellulosefaser-Einblasdämmung	23,50	45,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Lattung	0,38	484,51	0,13							
PRO_h_2	ab 2021	x	Mineralwolle (Innenausbau)	2,63	26,25	0,04	- dataholz.eu, 2021, Bauteil sdrhzi06b-03, jedoch mit Holzfaser- statt Mineralwoll-dämmung und BSH statt KVH in der Standardabmessung 12/28 cm)	92,4	1292,5	2617,9	31,2	305,6	2166,2
			GKF-Platte	1,25	800,00	0,25							
			Dachziegel (Biberschwanz; ca. 70 kg/m²)	3,21	2180,00	-							
			Lattung	0,80	484,51	-							
			Konterlattung	0,64	484,51	-							
			Unterdeckbahn	0,02	262,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	0,13							
			Brettschichtholz	4,03	507,11	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	23,97	160,00	0,04							
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
PRO_uh_1	ab 2021	x	Lattung	0,38	484,51	0,13	- dataholz.eu, 2021, Bauteil sdrhbi01a-04, jedoch ohne Dämmung und Innenverkleidung; Trennlage nach Herstellerangabe für BauderTOP VENT NSK	22,5	296,8	483,1	-9,4	-129,0	534,7
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	3,62	160,00	0,04							
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
			Blecheindeckung (Edelstahl)	0,04	7900,00	-							
			Strukturierte Trennlage (Kunststoffaservlies)	0,16	81,25	-							
			Schalung	2,40	484,51	-							
			Konterlattung	0,24	484,51	-							
PRO_uh_2	ab 2021	x	Unterdeckbahn	0,02	262,00	-	- dataholz.eu, 2021, Bauteil sdrhzi06b-03, jedoch mit BSH statt KVH in der Standardabmessung 12/28 cm und ohne Dämmung	50,3	788,8	1106,5	13,6	226,1	1200,5
			Schalung	2,40	484,51	-							
			Brettschichtholz	4,03	507,11	-							
			OSB-Platte	1,50	600,00	-							
			Lattung	0,38	484,51	-							
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	-							

FRO mas _1	ab 2021	x	PVC-Dachbahn	0,12	1250,00	-	Flachdachausführungen nach DIN	112,0	1578,4	1735,3	95,6	1338,4	1453,5
			Glasvlies Dach	0,05	229,40	-	18531, Teil 1-4 und						
FRO mas _2	ab 2021	x	Polystyrolämmung	22,00	26,90	0,04	DIN 18195;	193,8	3270,3	3667,2	166,8	2883,2	3166,1
			Flachdach, EPS 035	0,50	1000,00	-	Mindestdicke						
FRO wood _1	ab 2021	x	Bitumendachbahn	16,00	2400,00	2,30	Stahlbeton nach	56,2	747,8	1165,7	27,0	277,9	987,5
			Stahlbeton C20/25 (99/1)	0,50	1000,00	-	Bautabellen für						
FRO wood _2	ab 2021	x	Vegetationssubstrat, 750 kg/m³	2,60	750,00	-	Flachdachausführungen nach DIN	143,3	2843,6	4392,0	52,3	1310,3	3776,6
			Filtervlies, PP	0,03	95,50	-	18531, Teil 1-4 und						
FRO wood _3	ab 2021	x	Drainmatte, 2,8 kg/m²	0,29	46,70	-	DIN 18195;	88,0	1492,5	1852,2	34,3	678,4	1783,0
			Schutzvlies, 300 g/m²	0,08	83,30	-	Ausführung in						
FRO wood _4	ab 2021	x	Dachabdichtung, wurzelfest	0,40	1550,00	-	Anlehnung an	143,6	3076,4	3874,8	40,4	1520,5	3779,1
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-	Optigrün Spardach						
FRO wood _1	ab 2021	x	Polystyrolämmung, XPS (DA)	16,00	32,00	0,04	Mäander 60;	56,2	747,8	1165,7	27,0	277,9	987,5
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-	Bauteil fdoba01a						
FRO wood _2	ab 2021	x	Stahlbeton C30/37 (98/2)	24,00	2400,00	2,50	(ohne Installations-	112,0	1578,4	1735,3	95,6	1338,4	1453,5
			Innenputz	2,00	900,00	0,70	ebene); Wahl der						
FRO wood _3	ab 2021	x	OSB-Platte	2,50	600,00	0,13	Abmessungen des	56,2	747,8	1165,7	27,0	277,9	987,5
			Konstruktionvollholz	2,16	492,92	0,13	KVH nach Informa-						
FRO wood _4	ab 2021	x	Zellulosefaser-Einblasdämmung	27,84	45,00	0,04	tionsdienst Holz,	143,3	2843,6	4392,0	52,3	1310,3	3776,6
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-	2020, Konstruk-						
FRO wood _1	ab 2021	x	GKF-Platte	1,50	800,00	0,25	tionsvollholz KVH	56,2	747,8	1165,7	27,0	277,9	987,5
			Vegetationssubstrat, 750 kg/m³	2,60	750,00	-	und Balken-						
FRO wood _2	ab 2021	x	OSB-Platte	1,20	600,00	0,13	schichtholz	88,0	1492,5	1852,2	34,3	678,4	1783,0
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	22,03	160,00	0,04	Für statische Ver-						
FRO wood _3	ab 2021	x	Luftschicht	9,44	-	0,74	gleichbarkeit mit den	143,6	3076,4	3874,8	40,4	1520,5	3779,1
			Brettschichtholz	8,53	507,11	0,13	Brettsperrholz- und						
FRO wood _4	ab 2021	x	OSB-Platte	1,50	600,00	0,13	Stahlbetondecken	88,0	1492,5	1852,2	34,3	678,4	1783,0
			Lattung	1,00	484,51	0,13	wurde beim						
FRO wood _1	ab 2021	x	Holzfaserdämmung (Innenausbau)	4,00	160,00	0,04	Holzbalkendach eine	143,3	2843,6	4392,0	52,3	1310,3	3776,6
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	Bauteilhöhe von 40						
FRO wood _2	ab 2021	x	PVC-Dachbahn	0,12	1250,00	-	cm gewählt (Bautabellen für Ingeni-	88,0	1492,5	1852,2	34,3	678,4	1783,0
			Glasvlies Dach	0,05	229,40	-	eure, 2012, S. 4.93:						
FRO wood _3	ab 2021	x	Polystyrolämmung	19,00	26,90	0,04	h=l/16; mit < 6,5 m	143,6	3076,4	3874,8	40,4	1520,5	3779,1
			Flachdach, EPS 035	0,50	1000,00	-	--> h ≈ 40 cm)						
FRO wood _4	ab 2021	x	Bitumendachbahn	12,00	489,41	0,13	Flachdachausführungen nach DIN	143,6	3076,4	3874,8	40,4	1520,5	3779,1
			Brettsperrholz	24,00	489,41	0,13	18531, Teil 1-4 und						
FRO wood _1	ab 2021	x	Vegetationssubstrat, 750 kg/m³	2,60	750,00	-	DIN 18195;	112,0	1578,4	1735,3	95,6	1338,4	1453,5
			Filtervlies, PP	0,03	95,50	-	Mindestdicke Brett-						
FRO wood _2	ab 2021	x	Drainmatte, 2,8 kg/m²	0,29	46,70	-	sperrholz nach Bin-	88,0	1492,5	1852,2	34,3	678,4	1783,0
			Schutzvlies, 300 g/m²	0,08	83,30	-	derholz (Hersteller)						
FRO wood _3	ab 2021	x	Dachabdichtung, wurzelfest	0,40	1550,00	-	Flachdachausführungen nach DIN	143,6	3076,4	3874,8	40,4	1520,5	3779,1
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-	18531, Teil 1-4 und						
FRO wood _4	ab 2021	x	Polystyrolämmung, XPS (DA)	16,00	32,00	0,04	DIN 18195;	112,0	1578,4	1735,3	95,6	1338,4	1453,5
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-	Mindestdicke Brett-						
FRO wood _1	ab 2021	x	Brettsperrholz	24,00	489,41	0,13	sperrholz nach Bin-	88,0	1492,5	1852,2	34,3	678,4	1783,0
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	derholz (Hersteller)						

A.3 Bilanzierte Neubaukonstruktionen

EW mas _1	ab 2021	x	Innenputz	1,00	900,00	0,70	Eigene Annahme auf Basis von Herstellerrecherchen	71,3	727,2	870,8	69,6	702,7	844,0
			Hochlochziegel (99,6/0,4)	24,00	575,00	0,08							
			Mineralwolle (Außenwand) WDVS Verklebung und Beschichtung	12,00	46,25	0,04							
EW mas _2	ab 2021	x	Innenputz	2,00	900,00	0,70	Eigene Annahme auf Basis von Herstellerrecherchen (Wienerberger, Schlagmann POROTON S-8)	123,1	1436,1	1696,9	118,3	1367,8	1648,1
			Hochlochziegel, Dämmstoff gefüllt (99,6/0,4)	49,00	575,00	0,07							
			Konterlattung Vorhangfassade (Faserzementplatten)	0,38	484,51	-							
EW mas _3	ab 2021	x	Innenputz	1,00	900,00	0,70	Eigene Annahme auf Basis der vorhandenen Konstruktionen und Herstellerrecherchen (KS Original, KS-Ratio-Blocksteine)	98,6	913,2	1077,4	98,6	913,2	1077,4
			Kalksandstein (99,2/0,8)	17,50	1800,00	0,99							
			Mineralwolle (Außenwand) WDVS Verklebung und Beschichtung	22,00	46,25	0,04							
EW mas _4	ab 2021	x	Innenputz	2,00	900,00	0,70	Eigene Annahme auf Basis der vorhandenen Konstruktionen und Herstellerrecherchen (KS Original, max. Steindicke 240 mm)	145,4	1518,9	2728,5	110,0	953,9	2251,0
			Kalksandstein (95/5)	24,00	1800,00	0,99							
			Holzfaserdämmplatte (VF) Lattung Winddichtheitsbahn Konterlattung Vorhangfassade (Faserzementplatten)	26,22	160,00	0,04							
EW mas _5	ab 2021	x	Innenputz	1,00	900,00	0,70	Eigene Annahme auf Basis von Herstellerrecherchen (Ytong-Silka)	82,1	658,9	803,1	81,9	656,4	799,9
			Porenbeton P2 04 (99,2/0,8)	24,00	380,00	0,07							
			Mineralwolle (Außenwand) WDVS Verklebung und Beschichtung	10,00	46,25	0,04							
EW mas _6	ab 2021	x	Innenputz	2,00	900,00	0,70	Eigene Annahme auf Basis der vorhandenen Konstruktionen und Herstellerrecherchen (Ytong-Silka, max. Steindicke)	152,7	1219,0	1488,9	150,9	1194,4	1486,9
			Porenbeton P4 05 (95/5)	48,00	380,00	0,07							
			Konterlattung Vorhangfassade (Faserzementplatten)	0,38	484,51	-							
EW mas _7	ab 2021	x	Stahlbeton C20/25 (99/1)	15,00	380,00	2,30	Minimale Stb.-Wanddicke auf Grund der Betonierbarkeit (stehend) gewählt	88,0	814,4	993,1	84,8	773,0	937,7
			Mineralwolle (Außenwand) WDVS Verklebung und Beschichtung	22,00	46,25	0,04							
			Innenputz	2,00	900,00	0,70							
EW mas _8	ab 2021	x	Stahlbeton C30/37 (98/2)	30,00	380,00	2,50	Eigene Annahme auf Basis der vorhandenen Konstruktionen; Annahme: 30 cm Stb. als maximale Wandstärke bei mehrgeschossigen Gebäuden	182,3	1830,5	3207,1	140,6	1183,5	2619,9
			Holzfaserdämmplatte (VF) Lattung Winddichtheitsbahn Konterlattung Vorhangfassade (Faserzementplatten)	26,22	160,00	0,04							
			0,02	262,00	-								
EW wood _1	ab 2021	x	GKF-Platte	1,25	800,00	0,25	dataholz.eu, 2021, Bauteil awrhh04a-06, jedoch mit U-Wert= 0,15 statt 0,27; Abmessung KVH nach erforderlicher Dämmdicke	25,7	285,3	1118,1	-29,1	-449,1	1136,4
			PE-Folie Wand	0,02	930,00	-							
			Zellulosefaser-Einblasdämmung	27,90	45,00	0,04							
EW wood _2	ab 2021	x	Konstruktionsvollholz	4,10	492,92	0,13	dataholz.eu, 2021, Bauteil awrhh08b-04, jedoch U-Wert= 0,15 statt 0,16 und Holzfaserdämmung statt Mineralwolle; Abmessung KVH nach erforderlicher Dämmdicke	106,3	1452,2	2801,3	59,0	677,0	2302,6
			Gipsfaserplatte	1,25	1000,00	0,35							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
EW wood _2	ab 2021	x	Konterlattung	0,38	484,51	-	dataholz.eu, 2021, Bauteil awrhh08b-04, jedoch U-Wert= 0,15 statt 0,16 und Holzfaserdämmung statt Mineralwolle; Abmessung KVH nach erforderlicher Dämmdicke	106,3	1452,2	2801,3	59,0	677,0	2302,6
			Vorhangfassade (Annahme: Laubholz, natur)	2,40	761,60	-							
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
EW wood _2	ab 2021	x	Lattung	0,38	484,51	0,13	dataholz.eu, 2021, Bauteil awrhh08b-04, jedoch U-Wert= 0,15 statt 0,16 und Holzfaserdämmung statt Mineralwolle; Abmessung KVH nach erforderlicher Dämmdicke	106,3	1452,2	2801,3	59,0	677,0	2302,6
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	3,62	160,00	0,04							
			PE-Folie Wand	0,02	930,00	-							
EW wood _2	ab 2021	x	OSB-Platte	1,50	600,00	0,13	dataholz.eu, 2021, Bauteil awrhh08b-04, jedoch U-Wert= 0,15 statt 0,16 und Holzfaserdämmung statt Mineralwolle; Abmessung KVH nach erforderlicher Dämmdicke	106,3	1452,2	2801,3	59,0	677,0	2302,6
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	24,42	160,00	0,04							
			Konstruktionsvollholz	3,58	492,92	0,13							
EW wood _2	ab 2021	x	Gipsfaserplatte	2,00	1000,00	0,35	dataholz.eu, 2021, Bauteil awrhh08b-04, jedoch U-Wert= 0,15 statt 0,16 und Holzfaserdämmung statt Mineralwolle; Abmessung KVH nach erforderlicher Dämmdicke	106,3	1452,2	2801,3	59,0	677,0	2302,6
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
EW wood _2	ab 2021	x	Vorhangfassade (Faserzementplatten)	1,00	1300,00	-	dataholz.eu, 2021, Bauteil awrhh08b-04, jedoch U-Wert= 0,15 statt 0,16 und Holzfaserdämmung statt Mineralwolle; Abmessung KVH nach erforderlicher Dämmdicke	106,3	1452,2	2801,3	59,0	677,0	2302,6
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
			Lattung	0,38	484,51	0,13							

EW wood _3	ab 2021	x	GKF-Platte	1,25	800,00	0,25	dataholz.eu, 2021,	65,3	751,0	1072,1	33,8	271,8	1170,3
			Brettsper Holz	9,00	489,41	0,13	Bauteil awmopo01a-01, jedoch mit U-Wert= 0,15 statt 0,23 und einer BSH-Dicke von 90 mm auf Grund der Erfüllung statischer Anforderungen						
EW wood _4	ab 2021	x	Mineralwolle (Außenwand) WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00		116,5	1564,4	3015,1	7,4	-110,2	2947,6
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	dataholz.eu, 2021,						
			Lattung	0,58	484,51	0,13	Bauteil awmohi02a-06, jedoch mit doppelter Gipsfaserbeplankung,						
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	5,42	160,00	0,04	Vorhangfassade aus Faserzement-platten und Holzfaserdämmung auch in der						
			Brettsper Holz	24,00	489,41	0,13	Installationsebene; zudem wird die maximale Standarddicke von BSH angenommen						
			Lattung	1,34	484,51	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	12,66	160,00	0,04							
			Gipsfaserplatte	1,25	1000,00	0,35							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
Konterlattung	0,38	484,51	-										
Vorhangfassade (Faserzementplatten)	1,00	1300,00	-										
SW mas _1	ab 2021	x	Innenputz	1,00	900,00	-	Minimaldicke	30,9	241,4	288,3	28,5	208,7	246,8
			Hochlochziegel (51,6/48/0,4), Trennwand	17,50	2000,00	-	Trennwand nach Herstellerangaben (Schlagmann POROTON S Pz						
			Mineralwolle (Außenwand)	1,00	46,25	-							
SW mas _2	ab 2021	x	Innenputz	2,00	900,00	-	Maximaldicke	54,0	424,4	506,6	49,8	368,4	435,5
			Hochlochziegel (51,6/48/0,4), Trennwand	30,00	2000,00	-	Trennwand nach Herstellerangaben (Schlagmann POROTON S Pz Planziegel 300)						
			Mineralwolle (Außenwand)	2,00	46,25	-							
SW mas _3	ab 2021	x	Innenputz	1,00	900,00	-	Minimaldicke	32,4	253,9	297,2	32,4	253,9	297,2
			Kalksandstein (99,2/0,8)	11,50	1800,00	-	Trennwand nach Herstellerangaben (KS Original KS-Ratio-Blocksteine, KS L-R, SFK 12, RDK 1,4 - 4 DF, t 115)						
			Mineralwolle (Außenwand)	1,00	160,00	-							
SW mas _4	ab 2021	x	Innenputz	2,00	900,00	-	Maximaldicke	68,5	523,7	613,3	68,5	523,7	613,3
			Kalksandstein (95/5)	24,00	1800,00	-	Trennwand nach Herstellerangaben (KS Original KS-Ratio-Blocksteine, KS L-R, SFK 12, RDK 1,4 - 8 DF, t 240)						
			Mineralwolle (Außenwand)	2,00	160,00	-							
SW mas _5	ab 2021	x	Innenputz	1,00	900,00	-	Minimaldicke nach Herstellerangaben (Bundesverband Porenbeton e.V., 2018, Porenbetonhandbuch, S.32: Haustrennwände in allen Steindicken möglich); Annahme: Haustrennwand nichttragend	25,0	174,0	213,3	24,9	172,8	211,8
			Porenbeton P2 04 (99,2/0,8)	11,50	380,00	-							
			Mineralwolle (Außenwand)	1,00	160,00	-							
SW mas _6	ab 2021	x	Innenputz	2,00	900,00	-	Maximaldicke nach Herstellerangaben (Bundesverband Porenbeton e.V., 2018, Porenbetonhandbuch, S.32: Haustrennwände in allen Steindicken möglich)	119,1	746,4	909,4	118,6	740,5	901,9
			Porenbeton P4 05 (95/5)	48,00	380,00	-							
			Mineralwolle (Außenwand)	2,00	160,00	-							
SW mas _7	ab 2021	x	Stahlbeton C20/25 (99/1)	15,00	380,00	-	Annahme: minimale konstruktiv ausführbare Stahlbetonwanddicke (Betonierbarkeit)	36,8	268,2	345,4	33,6	226,8	290,0
			Mineralwolle (Außenwand)	1,00	160,00	-							
SW mas _8	ab 2021	x	Innenputz	2,00	900,00	-	Annahme: maximal im Wohnungsbau gängig ausgeführte Stahlbetonwanddicke	105,48	835,3	1091,9	99,189	753,28	982,25
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	30,00	380,00	-							
			Mineralwolle (Außenwand)	2,00	46,25	-							

A.3 Bilanzierte Neubaukonstruktionen

SW wood _1	ab 2021	x	GKF-Platte	1,25	800,00	- dataholz.eu, 2021,	9,8	145,4	275,0	3,4	58,5	240,1
			Zellulosefaser- Einblasdämmung	9,04	45,00	- Bauteil twrxo03a- 03; 2-schalige						
			Konstruktionsvollholz	0,96	492,92	- Gebäudetreppenwand,						
			GKF-Platte	2,50	800,00	- halber Konstruktions- aufbau						
			Mineralwolle (Außenwand)	1,00	46,25	-						
SW wood _2	ab 2021	x	Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	- dataholz.eu, 2021,	60,3	867,3	1833,9	16,3	121,6	1500,4
			Lattung	0,58	484,51	- Bauteil twrxo07b- 00, jedoch mit						
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	5,42	160,00	- Holzfaser- statt						
			OSB-Platte	1,50	600,00	- Mineralwollge- fachdämmung,						
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	14,54	160,00	- Ständerdicke von je						
			Konstruktionsvollholz	3,46	492,92	- 18 cm und einer						
			OSB-Platte	1,50	600,00	- Installationsebene;						
			Gipsfaserplatte	1,25	1000,00	- Gebäudetreppenwand,						
Mineralwolle (Außenwand)	1,00	46,25	- halber Kon- struktionsaufbau									
SW wood _3	ab 2021	x	Brettsper Holz	7,80	489,41	- dataholz.eu, 2021,	13,5	179,2	365,9	-13,8	-236,1	451,0
			Mineralwolle (Außenwand)	1,00	46,25	- Bauteil twmxxo03a- 00, jedoch ohne						
						- Verkleidung mit Trockenbauplatte; 2-schalige Gebäu- detrennwand, halber Konstruktionsaufbau						
SW wood _4	ab 2021	x	Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	- dataholz.eu, 2021,	57,1	764,2	1593,6	-34,0	-625,9	1756,5
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	5,42	160,00	- Bauteil twmxxo06a- 01, jedoch mit Holz- faser- statt						
			Lattung	0,58	484,51	- Mineralwoll- dämmung, 2-fachen						
			Brettsper Holz	24,00	489,41	- Beplankung mit						
			Mineralwolle (Außenwand)	2,00	46,25	- Gipsfaserplatte und einer BSH-Dicke von 240 mm						
IW mas _1	ab 2021	x	Innenputz	1,00	900,00	- Annahme Ver- hältnis Planziegel	19,1	192,1	229,1	18,3	180,4	216,3
			Hochlochziegel (99,6/0,4)	11,50	575,00	- und Dünnbett- mörtel in Annä- herung an Her- stellerangaben						
			Innenputz	1,00	900,00	- (Wienerberger, Poroton-Hoch- lochziegel-Plan-T- 11,5; Steinhöhe 498 mm, Mörtelschicht 2 mm); Minimaldicke						
IW mas _2	ab 2021	x	Innenputz	2,00	900,00	- Annahme Verhältnis	40,5	398,5	475,4	38,9	374,4	449,0
			Hochlochziegel (98/2)	24,00	575,00	- Ziegel/Mörtel für den						
			Innenputz	2,00	900,00	- ungünstigsten Fall gewählt; Maximal- dicke für Standard- innenwände nach Herstellerangaben (Wienerberger)						
IW mas _3	ab 2021	x	Innenputz	1,00	900,00	- Annahme Verhältnis	33,1	256,1	299,9	33,1	256,1	299,9
			Kalksandstein (99,2/0,8)	11,50	1800,00	- Planziegel und						
			Innenputz	1,00	900,00	- Dünnbettmörtel in Annäherung an Herstellerangaben (KS Original, KS Ratio Plansteine: Steinhöhe 248 mm, Mörtelschicht 2 mm); Minimaldicke						
IW mas _4	ab 2021	x	Innenputz	2,00	900,00	- Annahme Verhältnis	69,9	528,0	618,9	69,9	528,0	618,9
			Kalksandstein (95/5)	24,00	1800,00	- Ziegel/Mörtel in						
			Innenputz	2,00	900,00	- Annäherung an Herstellerangaben (KS Original, KS Ratio Blocksteine: Steinhöhe 238 mm, Mörtelschicht 12 mm); Maximaldicke für Standardinnen- wände nach Her- stellerangaben (KS Original)						
IW mas _5	ab 2021	x	Innenputz	1,00	900,00	- Annahme Verhältnis	25,7	176,2	216,1	25,6	175,0	214,5
			Porenbeton P2 04 (99,2/0,8)	11,50	380,00	- Planziegel und						
			Innenputz	1,00	900,00	- Dünnbettmörtel in Annäherung; Minimaldicke						

IW mas _6	ab 2021	x	Innenputz	2,00	900,00	- Annahme Verhältnis - Planziegel und - Dünnbettmörtel in Annäherung; Maximaldicke	64,5	414,7	503,5	64,2	411,7	499,7
			Porenbeton P4 05 (95/5)	24,00	380,00							
			Innenputz	2,00	900,00							
IW mas _7	ab 2021	x	Stahlbeton C20/25 (99/1)	15,00	380,00	Minimal konstruktiv ausführbare Wandicke bei Ortbetonwänden (Betonierbarkeit)	35,4	250,7	325,1	32,2	209,3	269,7
			Innenputz	2,00	900,00	Maximaldicke in Annäherung an Mauerwerksdicken gewählt, wobei 250 mm gängigeres Betoniermaß ist						
IW mas _8	ab 2021	x	Stahlbeton C30/37 (98/2)	25,00	380,00	-	90,4	712,8	929,9	85,2	644,4	838,5
			Innenputz	2,00	900,00							
			Innenputz	2,00	900,00							
IW wood _1	ab 2021	x	GKF-Platte	1,25	800,00	- dataholz.eu, 2021, Bauteil iwrxo01a- 04; Ständerabstand gewählt: 62,5 cm	6,7	92,2	208,9	0,3	5,3	174,0
			Zellulosefaser- Einblasdämmung	9,04	45,00							
			Konstruktionsvollholz	0,96	492,92							
			GKF-Platte	1,25	800,00							
IW wood _2	ab 2021	x	Gipsfaserplatte	3,60	1000,00	- dataholz.eu, 2021, Bauteil iwrxo10b- 00, jedoch mit Holzfaserdämmstoff auf 24 cm Ständerdicke erhöht	75,9	1140,3	2199,5	25,0	264,3	1886,9
			OSB-Platte	2,20	600,00							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	19,39	160,00							
			Konstruktionsvollholz	4,61	492,92							
			OSB-Platte	2,20	600,00							
Gipsfaserplatte	3,60	1000,00										
IW wood _3	ab 2021	x	Brettsper Holz	9,00	489,41	dataholz.eu, 2021, Bauteil iwmxo01a- 00, jedoch ohne Verkleidung mit Trockenbauplatte	14,0	186,6	398,8	-17,6	-292,6	497,0
			Gipsfaserplatte	3,60	1000,00	dataholz.eu, 2021, Bauteil iwmxo02a- 01, jedoch mit beidseitiger Beplankung, dickerer Gipsfaserplatte, Holzfaserdämmung und einer Dicke des BSH von 24 cm						
IW wood _4	ab 2021	x	Holzfaserdämmung (Innenausbau)	5,42	160,00	-	78,5	1073,4	2198,2	-19,6	-428,8	2262,3
			Lattung	0,58	484,51							
			Brettsper Holz	24,00	489,41							
			Lattung	0,58	484,51							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	5,42	160,00							
Gipsfaserplatte	3,60	1000,00										
CW _h _1	ab 2021	x	Noppenbahn	0,13	960,00	- Dimensionierung in Anlehnung an www.bauwion.de (https://www.bauwion.de/wissen/rohbau/bodenplatte-keller/102-kellerwaende-ziegel; https://www.bauwion.de/wissen/rohbau/bodenplatte-keller/105-abdichtung-schwarze-wanne); Wahl Verhältnis Ziegel zu Dünnbettmörtel nach Wienerberger; Wärmeleitfähigkeit Hochlochziegel für Niedrigstenergiestandard gewählt	121,8	1370,3	1580,1	107,9	1166,8	1328,1
			Polystyrol dämmung, XPS (KW)	1,00	32,00							
			PE-HD-Flächenabdichtung	0,15	1067,00							
			Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00							
			Außenputz	2,00	1800,00							
			Hochlochziegel (99,6/0,4)	49,00	575,00							
			Innenputz	1,00	900,00							

A.3 Bilanzierte Neubaukonstruktionen

CW _h _2	ab 2021	x	Noppenbahn	0,13	960,00	-	Dimensionierung in Anlehnung an www.bauwion.de (https://www.bauwion.de/wissen/rohbau/bo-denplatte-keller/102-kellerwaende-ziegel; https://www.bauwion.de/wissen/rohbau/bo-denplatte-keller/105-abdichtung-schwarze-wanne); Wahl Verhältnis Ziegel zu Dünnbettmörtel nach Wienerberger; Wärmeleitfähigkeit Hochlochziegel für Niedrigstenergiestandard gewählt	145,2	1740,3	1940,2	124,7	1440,6	1560,7
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	9,00	32,00	0,04							
			PE-HD-Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-							
			Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
			Hochlochziegel, Dämmstoff gefüllt (99,6/0,4)	30,00	575,00	0,07							
Innenputz	2,00	900,00	0,70										
								206,5	2351,6	2583,1	175,2	1893,9	1994,7
CW _h _3	ab 2021	x	Noppenbahn	0,13	960,00	-	Dimensionierung in Anlehnung an www.kalksandstein.de und www.bauwion.de (https://www.kalksandstein.de/bv_ksi/keller-und-kellerwaende?page_id=13402; https://www.bauwion.de/wissen/rohbau/bo-denplatte-keller/105-abdichtung-schwarze-wanne)	256,8	2793,3	3082,8	222,6	2292,2	2438,4
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	22,00	32,00	0,04							
			PE-HD-Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-							
			Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
			Kalksandstein (99,2/0,8)	24,00	1800,00	0,99							
								256,8	2793,3	3082,8	222,6	2292,2	2438,4
CW _h _4	ab 2021	x	Noppenbahn	0,13	960,00	-	Dimensionierung in Anlehnung an www.kalksandstein.de und www.bauwion.de (https://www.kalksandstein.de/bv_ksi/keller-und-kellerwaende?page_id=13402; https://www.bauwion.de/wissen/rohbau/bo-denplatte-keller/105-abdichtung-schwarze-wanne)	143,6	1233,3	1448,9	133,7	1089,5	1264,0
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	25,00	32,00	0,04							
			PE-HD-Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-							
			Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
			Porenbeton P2 04 (99,2/0,8)	48,00	380,00	0,07							
Innenputz	1,00	900,00	0,70										
								143,6	1233,3	1448,9	133,7	1089,5	1264,0
CW _h _5	ab 2021	x	Noppenbahn	0,13	960,00	-	Dimensionierung in Anlehnung an www.ytong-silka.de und bauwion.de (https://baubuch.ytong-silka.de/konstruktion-beispiele/gruendung/gruendung/#image-2; https://www.bauwion.de/wissen/rohbau/bo-denplatte-keller/102-kellerwaende-ziegel; https://www.bauwion.de/wissen/rohbau/bo-denplatte-keller/105-abdichtung-schwarze-wanne)	143,6	1233,3	1448,9	133,7	1089,5	1264,0
			PE-HD-Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-							
			Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
			Porenbeton P2 04 (99,2/0,8)	48,00	380,00	0,07							
			Innenputz	1,00	900,00	0,70							
								143,6	1233,3	1448,9	133,7	1089,5	1264,0

CW _h _6	ab 2021	x	Noppenbahn	0,13	960,00	-	Dimensionierung in Anlehnung an www.ytong-silka.de und bauwion.de (https://baubuch.ytong-silka.de/konstruktion/beispiele/gruendung/gruendung/#image-2; https://www.bauwion.de/wissen/rohbau/bodenplatte-keller/102-kellerwaende-ziegel; https://www.bauwion.de/wissen/rohbau/bodenplatte-keller/105-abdichtung-schwarze-wanne)	164,8	1615,9	1823,4	146,1	1342,9	1472,4
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	9,00	32,00	0,04							
			PE-HD-Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-							
			Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
Porenbeton P4 05 (95/5)	30,00	380,00	0,07										
Innenputz	2,00	900,00	0,70										
CW _h _7	ab 2021	x	Noppenbahn	0,13	960,00	-	Ausführung schwarze Wanne in Anlehnung an www.bauwion.de (https://www.bauwion.de/wissen/rohbau/bodenplatte-keller/105-abdichtung-schwarze-wanne); Annahme: Mindestwanddicke 200 mm	158,3	1849,6	2041,6	128,2	1415,7	1480,8
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	22,00	32,00	0,04							
			Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			Stahlbeton C20/25 (99/1)	20,00	380,00	2,30							
CW _h _8	ab 2021	x	Noppenbahn	0,13	960,00	-	Ausführung weiße Wanne in Anlehnung an www.bauwion.de (https://www.bauwion.de/wissen/rohbau/bodenplatte-keller/106-abdichtung-weiße-wanne); Annahme: maximale Wanddicke 350 mm	243,0	2613,8	3009,4	206,8	2096,0	2338,6
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	25,00	32,00	0,04							
			Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	35,00	380,00	2,50							
			Innenputz	2,00	900,00	0,70							
CW _uh _1	ab 2021	x	Noppenbahn	0,13	960,00	-	Dimensionierung in Anlehnung an bauwion.de (https://www.bauwion.de/wissen/rohbau/bodenplatte-keller/102-kellerwaende-ziegel; https://www.bauwion.de/wissen/rohbau/bodenplatte-keller/105-abdichtung-schwarze-wanne)	85,1	980,9	1121,2	74,0	817,6	915,8
			PE-HD-Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-							
			Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			Außenputz	2,00	1800,00	-							
			Hochlochziegel (99,6/0,4)	24,00	575,00	-							
Innenputz	1,00	900,00	-										
CW _uh _2	ab 2021	x	Noppenbahn	0,13	960,00	-	Dimensionierung in Anlehnung an bauwion.de (https://www.bauwion.de/wissen/rohbau/bodenplatte-keller/102-kellerwaende-ziegel; https://www.bauwion.de/wissen/rohbau/bodenplatte-keller/105-abdichtung-schwarze-wanne)	138,5	1570,9	1793,0	125,6	1382,4	1560,1
			PE-HD-Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-							
			Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			Außenputz	2,00	1800,00	-							
			Hochlochziegel, Dämmstoff gefüllt (99,6/0,4)	49,00	575,00	-							
Innenputz	2,00	900,00	-										

A.3 Bilanzierte Neubaukonstruktionen

CW	ab			Noppenbahn	0,13	960,00	- Dimensionierung in	112,1	1094,8	1246,0	102,6	955,9	1067,4
_uh	2021	x		PE-HD-Flächenabdichtung	0,15	1067,00	- Anlehnung an						
_3				Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	- www.kalksandstein.de und						
				Außenputz	2,00	1800,00	- www.bauwion.de						
				Kalksandstein (99,2/0,8)	24,00	1800,00	- (https://www.kalksandstein.de/bv_ksi/keller-und-kellerwaende?page_id=13402 ; https://www.bauwion.de/wissen/rohbau/bo-denplatte-keller/105-abdichtung-schwarze-wanne)						
				Noppenbahn	0,13	960,00	- Dimensionierung in	149,6	1365,1	1563,3	140,1	1226,3	1384,8
				PE-HD-Flächenabdichtung	0,15	1067,00	- Anlehnung an						
				Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	- www.kalksandstein.de und						
				Außenputz	2,00	1800,00	- www.bauwion.de						
				Kalksandstein (95/5)	36,50	1800,00	- (https://www.kalksandstein.de/bv_ksi/keller-und-kellerwaende?page_id=13402 ; https://www.bauwion.de/wissen/rohbau/bo-denplatte-keller/105-abdichtung-schwarze-wanne)						
				Innenputz	2,00	900,00	-						
				Noppenbahn	0,13	960,00	-	110,0	1019,1	1182,7	100,3	877,1	1000,2
				PE-HD-Flächenabdichtung	0,15	1067,00	- Dimensionierung in						
				Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	- Anlehnung an						
				Außenputz	2,00	1800,00	- www.ytong-silka.de und bauwion.de						
				Porenbeton P2 04 (99,2/0,8)	30,00	380,00	- (https://baubuch.ytong-silka.de/konstruktion-sbeispiele/gruendung/g/gruendung/#image-2 ; https://www.bauwion.de/wissen/rohbau/bo-denplatte-keller/102-kellerwaende-ziegel ; https://www.bauwion.de/wissen/rohbau/bo-denplatte-keller/105-abdichtung-schwarze-wanne)						
				Innenputz	1,00	900,00	-						
				Noppenbahn	0,13	960,00	-	168,1	1353,8	1585,1	158,2	1209,0	1398,9
				PE-HD-Flächenabdichtung	0,15	1067,00	- Dimensionierung in						
				Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	- Anlehnung an						
				Außenputz	2,00	1800,00	- www.ytong-silka.de und bauwion.de						
				Porenbeton P4 05 (95/5)	48,00	380,00	- (https://baubuch.ytong-silka.de/konstruktion-sbeispiele/gruendung/g/gruendung/#image-2 ; https://www.bauwion.de/wissen/rohbau/bo-denplatte-keller/102-kellerwaende-ziegel ; https://www.bauwion.de/wissen/rohbau/bo-denplatte-keller/105-abdichtung-schwarze-wanne)						
				Innenputz	2,00	900,00	-						
				Noppenbahn	0,13	960,00	- Ausführung	63,9	592,8	704,5	55,6	477,7	553,6
				Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	- schwarze Wanne in						
				Stahlbeton C20/25 (99/1)	20,00	380,00	- Anlehnung an						
							- www.bauwion.de						
							- (https://www.bauwion.de/wissen/rohbau/bo-denplatte-keller/105-abdichtung-schwarze-wanne); Annahme: Mindestwanddicke 200 mm						

			Noppenbahn	0,13	960,00	-	Ausführung weiße	135,7	1185,6	1490,0	124,3	1030,0	1285,0
			Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-	Wanne in Anlehnung an www.bauwion.de (https://www.bauwion.de/wissen/rohbau/bodenplatte-keller/106-abdichtung-weisse-wanne ; https://www.beton.org/fileadmin/beton.org/media/Dokumente/PDF/Service/Zementmerkl%C3%A4tter/H10.pdf)						
CW	ab		Stahlbeton C30/37 (98/2)	35,00	380,00	-							
_uh	2021	x	Innenputz	2,00	900,00	-							
_8													
			Mineralwolle (Außenwand)	10,00	32,00	0,04	Dimensionierung nach	43,9	399,0	470,4	41,5	366,3	428,9
			Hochlochziegel (51,6/48/0,4), Trennwand	17,50	2000,00	0,67	Herstellerangaben (Schlagmann Poroton-S-Pz- Planziegel-175); Mindestdicke						
SCW	ab		Innenputz	1,00	900,00	0,70							
_h	2021	x											
_1													
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	11,00	32,00	0,04	Dimensionierung nach	98,3	1017,8	1134,7	83,2	802,4	858,7
			Hochlochziegel (51,6/48/0,4), Trennwand	30,00	2000,00	0,72	Herstellerangaben (Schlagmann Poroton-S-Pz- Planziegel-300); Maximaldicke						
SCW	ab		Innenputz	2,00	900,00	0,70							
_h	2021	x											
_2													
			Mineralwolle (Außenwand)	10,50	32,00	0,04	Konstruktionswahl in Anlehnung an www.kalksandstein.de , zweischalige Haustrennwände (https://www.kalksandstein.de/entwurf-und-planung/bauteile/tragende-innenwaende/); Minimaldicke	44,0	400,6	466,4	44,0	400,6	466,4
			Kalksandstein (99,2/0,8)	11,50	1800,00	0,99							
SCW	ab												
_h	2021	x											
_3													
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	12,00	32,00	0,04	Konstruktionswahl in Anlehnung an www.kalksandstein.de , zweischalige Haustrennwände (https://www.kalksandstein.de/entwurf-und-planung/bauteile/tragende-innenwaende/); Maximaldicke	117,1	1174,2	1302,2	105,3	1000,3	1078,6
			Kalksandstein (95/5)	24,00	1800,00	0,99							
SCW	ab		Innenputz	2,00	900,00	0,70							
_h	2021	x											
_4													
			Mineralwolle (Außenwand)	2,50	32,00	0,04	Konstruktionswahl in Anlehnung an www.ytong-silka.de (https://baubuch.ytong-silka.de/konstruktion/sbeispiele/innenwand/innenwand-2/#image-8); Minimaldicke	38,4	271,7	332,4	38,2	269,9	330,1
			Porenbeton P2 04 (99,2/0,8)	17,50	380,00	0,07							
SCW	ab		Innenputz	1,00	900,00	0,70							
_h	2021	x											
_5													
			Luftschrift	1,00	-	-	Konstruktionswahl in Anlehnung an www.ytong-silka.de ; Maximaldicke	116,2	711,4	869,0	115,7	705,5	861,4
			Porenbeton P4 05 (95/5)	48,00	380,00	0,07							
SCW	ab		Innenputz	2,00	900,00	0,70							
_h	2021	x											
_6													
			Mineralwolle (Außenwand)	11,00	32,00	0,04	Minimal konstruktiv ausführbare Wanddicke bei Ortbetonwänden (Betonierbarkeit)	51,3	443,3	547,7	48,1	401,9	492,3
			Stahlbeton C20/25 (99/1)	15,00	380,00	2,30							
SCW	ab												
_h	2021	x											
_7													
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	12,00	32,00	0,04	Annahme: Maximaldicke	154,1	1485,8	1780,8	135,9	1229,9	1447,5
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	30,00	380,00	2,50	Stahlbetonwand 300 mm						
SCW	ab		Innenputz	2,00	900,00	0,70							
_h	2021	x											
_8													
			Hochlochziegel (51,6/48/0,4), Trennwand	17,50	2000,00	-	Dimensionierung nach	29,5	223,9	268,1	27,0	191,2	226,6
			Innenputz	1,00	900,00	-	Herstellerangaben (Schlagmann Poroton-S-Pz- Planziegel-175); Mindestdicke						
SCW	ab												
_uh	2021	x											
_1													

A.3 Bilanzierte Neubaukonstruktionen

SCW	ab		Hochlochziegel (51,6/48/0,4), Trennwand	30,00	2000,00	-	Dimensionierung nach	51,1	389,4	466,1	46,9	333,4	395,1
_uh	2021	x	Innenputz	2,00	900,00	-	Herstellerrangaben (Schlagmann Poroton-S-Pz- Planziegel-300); Maximaldicke						
SCW	ab		Kalksandstein (99,2/0,8)	11,50	1800,00	-	Konstruktionswahl in Anlehnung an www. kalksandstein.de, zweischalige Haustrennwände	28,8	216,8	253,9	28,8	216,8	253,9
_uh	2021	x				-	(https://www.kalksan dstein.de/entwurf- und- planung/bauteile/trag ende-innenwaende/); Minimaldicke						
SCW	ab		Kalksandstein (95/5)	24,00	1800,00	-	Konstruktionswahl in	65,6	488,7	572,9	65,6	488,7	572,9
_uh	2021	x	Innenputz	2,00	900,00	-	Anlehnung an www. kalksandstein.de, zweischalige Haustrennwände (https://www.kalksan dstein.de/entwurf- und- planung/bauteile/trag ende-innenwaende/); Maximaldicke						
SCW	ab		Porenbeton P2 04 (99,2/0,8)	17,50	380,00	-	Konstruktionswahl in Anlehnung an www.	34,8	227,9	281,8	34,6	226,1	279,5
_uh	2021	x	Innenputz	1,00	900,00	-	ytong-silka.de (https://baubuch.yton g- silka.de/konstruktion sbeispiele/innenwan d/innenwand- 2/#image-8); Minimaldicke						
SCW	ab		Porenbeton P4 05 (95/5)	48,00	380,00	-	Konstruktionswahl in	116,2	711,4	869,0	115,7	705,5	861,4
_uh	2021	x	Innenputz	2,00	900,00	-	Anlehnung an www. ytong-silka.de; Maximaldicke						
SCW	ab		Stahlbeton C20/25 (99/1)	15,00	380,00	-	Minimal konstruktiv ausführbare	35,4	250,7	325,1	32,2	209,3	269,7
_uh	2021	x				-	Wanddicke bei Ortbetonwänden (Betonierbarkeit)						
SCW	ab		Stahlbeton C30/37 (98/2)	30,00	380,00	-	Annahme: Maximaldicke	102,6	800,3	1051,5	96,3	718,3	941,8
_uh	2021	x	Innenputz	2,00	900,00	-	Stahlbetonwand 300 mm						
FL	ab		Trockenestrich	2,50	800,00	-	Mindestdicke	43,4	372,0	472,1	39,4	318,0	402,2
mas	2021	x	Polystyrolämmung Decke und Boden, EPS, WLS 040	2,00	18,50	-	Stahlbeton nach Bautabellen für Ingenieure, 2012, S. 4.97 (l= 4 m; Zweifeldträger)						
FL	ab		Stahlbeton C20/25 (99/1)	16,00	2400,00	-	Maximaldicke	127,2	1009,1	1448,6	117,5	862,9	1257,1
mas	2021	x	Zementestrich	7,50	2400,00	-	Stahlbeton nach Bautabellen für Ingenieure, 2012, S. 4.96 (l= 6 m; Einfeldträger)						
FL	ab		PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
wood	ab		Holzfaserdämmung (TSD)	5,00	160,00	-							
_1	2021	x	Stahlbeton C30/37 (98/2)	24,00	2400,00	2,50							
			Innenputz	2,00	900,00	0,70							
			Trockenestrich	2,50	800,00	-	dataholz.eu, 2021, Bauteil gdstxx01-01;	11,8	184,8	327,7	-11,8	-132,2	397,1
			Polystyrolämmung Decke und Boden, EPS, WLS 040	2,00	18,50	-	jedoch mit 20 mm TSD und als						
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-	Schüttung wurden für ein						
			Schüttung, Porenbetongranulat	4,00	400,00	-	Porenbetongranulat die geringsten						
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-	Umweltwirkungen ermittelt; Abmes- sungen KVH nach						
			Schalung	4,00	484,51	-	Bautabellen für Ingenieure, 2012, S. 4.101 (Stützweite > 4 m; bxh = 100x200 mm, a= 100 cm)						
			Konstruktionsvollholz	2,00	492,92	-							

FL wood _2	ab 2021	x	Zementestrich	7,50	2400,00	-	dataholz.eu, 2021,	101,7	1211,7	2355,4	45,6	235,3	2002,3
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-	Bauteil gdmrxa05b-13; jedoch ohne Federlagerung der abgehängten Decke, mit 75 mm Estrichdicke (Heizestrich), 50 mm Holzfaserdämmung als TSD und 200 mm Holzfaserdämmung als Gefachdämmung, Abmessung BSH nach Bautabellen für Ingenieure, 2012, 4.101 (Stützweite <6,5 m; bxh= 200x320 mm, a= 100 cm)						
FL wood _3	ab 2021	x	Trockenestrich	2,50	800,00	-	dataholz.eu, 2021, Bauteil gdmtnx01-00; jedoch mit EPS- statt MW-TSD in 20 mm Dicke und einer Schüttungshöhe von 40 mm; Abgleich Mindestdicke Brettspertholz mit Herstellerangaben (Binderholz)	29,1	418,5	771,4	-21,1	-342,8	905,6
			Polystyrolämmung Decke und Boden, EPS, WLS 040	2,00	18,50	-							
FL wood _4	ab 2021	x	PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Schüttung, Porenbetongranulat	4,00	400,00	-							
FL wood _4	ab 2021	x	PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Brettspertholz	14,00	489,41	-							
TFL mas _1	ab 2021	x	Zementestrich	7,50	2400,00	-	dataholz.eu, 2021, Bauteil gdmnxa02a; jedoch Holzfaser- statt MW-Dämmung, statt einer Splitt- eine Perlitschüttung mit 80 mm, Estrichdicke 75 mm und doppelte Beplankung mit Gipsfaserplatten; maximale Brettspertholzdicke 240 mm nach Herstellerangabe (Binderholz)	145,1	1713,8	2796,7	49,0	239,4	2851,1
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
TFL mas _2	ab 2021	x	Holzfaserdämmung (TSD)	5,00	160,00	-							
			Schüttung, Perlite 0-3	8,00	1000,00	-							
TFL wood _1	ab 2021	x	PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Brettspertholz	24,00	489,41	-							
TFL wood _2	ab 2021	x	Lattung	0,58	484,51	-							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	5,42	160,00	-							
TFL wood _3	ab 2021	x	Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	-							
			Mineralwolle (Boden)	25,00	85,00	0,04	Mindestdicke	72,1	722,3	873,0	68,7	678,1	813,9
TFL wood _3	ab 2021	x	Stahlbeton C20/25 (99/1)	16,00	2400,00	2,30	Stahlbeton nach Bautabellen für Ingenieure, 2012, S. 4.97 (l= 4 m; Zweifeldträger)						
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	Maximaldicke	129,4	1232,6	2397,0	102,2	782,6	1814,7
TFL wood _1	ab 2021	x	Holzfaserdämmung (Innenausbau)	25,00	160,00	0,04	Stahlbeton nach Bautabellen für Ingenieure, 2012, S. 4.96 (l= 6 m; Einfeldträger)						
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	24,00	2400,00	2,50							
TFL wood _1	ab 2021	x	Innenputz	2,00	900,00	0,70							
			GKF-Platte	1,25	800,00	0,25							
TFL wood _2	ab 2021	x	OSB-Platte	1,80	600,00	0,13							
			Konstruktionsvollholz	1,92	492,92	0,13	dataholz.eu, 2021, Bauteil ddrtnx01a-05, jedoch mit Installationsebene inkl. OSB-Platte und ohne Sparschalung	41,3	729,0	1160,7	13,6	261,6	1077,7
TFL wood _2	ab 2021	x	Zellulosefaser-Einblasdämmung	22,08	45,00	0,04							
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
TFL wood _2	ab 2021	x	Lattung	0,38	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	3,62	26,25	0,04							
TFL wood _2	ab 2021	x	GKF-Platte	12,50	800,00	0,25							
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
TFL wood _2	ab 2021	x	OSB-Platte	1,80	600,00	0,13	dataholz.eu, Bauteil ddrtnx01b-02, jedoch mit Holzfaser- statt Mineralwollämmung, Gipsfaserplatte mit 25 mm, Installationsebene und mit BSH bxh= 200x320 mm, a= 100 cm	81,8	1157,3	2526,7	20,3	98,3	2056,9
			Brettschichtholz	6,40	507,11	0,13							
TFL wood _3	ab 2021	x	Holzfaserdämmung (Innenausbau)	25,60	160,00	0,04							
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
TFL wood _3	ab 2021	x	Lattung	0,38	484,51	0,13							
			Luftschicht, ruhend	1,81	-	0,12							
TFL wood _3	ab 2021	x	Holzfaserdämmung (Innenausbau)	1,81	160,00	0,04							
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
TFL wood _3	ab 2021	x	Mineralwolle (Boden)	21,00	85,00	0,04	dataholz.eu, 2021, Bauteil ddmxxn01-00	51,3	681,9	1072,6	2,0	-66,4	1221,7
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
TFL wood _3	ab 2021	x	Brettspertholz	14,00	489,41	0,13							

A.3 Bilanzierte Neubaukonstruktionen

TFL wood _4	ab 2021	x	Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	83,3	1107,3	2455,8	-19,7	-486,4	2356,7							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	13,00	160,00	0,04													
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-													
			Brettspertholz	24,00	489,41	0,13													
			Lattung	0,58	484,51	0,13													
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	5,42	160,00	0,04													
Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35																
CFL mas _1	ab 2021	x	Trockenestrich	2,50	800,00	0,25	72,5	652,5	817,3	69,1	608,3	758,2							
			Mineralwolle (Boden)	2,00	85,00	0,04													
			Stahlbeton C20/25 (99/1)	16,00	2400,00	2,30													
			Mineralwolle (Innenausbau)	19,00	26,25	0,04													
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00													
Zementestrich	7,50	2400,00	1,40	172,6	1495,3	2666,5	146,1	1056,9	2099,2										
PE-Folie Decke	0,02	930,00	-																
Holzfaserdämmung (TSD)	5,00	160,00	0,04																
Stahlbeton C30/37 (98/2)	24,00	2400,00	2,50																
Holzfaserdämmung (Innenausbau)	19,00	160,00	0,04																
WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00																
CFL wood _1	ab 2021	x	Trockenestrich	2,50	800,00	0,25	31,2	492,9	848,4	3,1	19,5	765,8							
			Mineralwolle (Boden)	3,00	85,00	0,04													
			OSB-Platte	1,80	600,00	0,13													
			Konstruktionsvollholz	2,40	492,92	0,13													
			Zellulosefaser-Einblasdämmung	21,60	45,00	0,04													
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-													
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13													
			GKF-Platte	1,25	800,00	0,25													
CFL wood _2	ab 2021	x	Zementestrich	7,50	2400,00	1,40	106,6	1270,1	2530,7	47,6	244,6	2114,3							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-													
			Holzfaserdämmung (TSD)	5,00	160,00	0,04													
			OSB-Platte	2,20	600,00	0,13													
			Brettschichtholz	6,40	507,11	0,13													
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	19,20	160,00	0,04													
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13													
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35													
			Trockenestrich	2,50	800,00	0,25							39,6	563,0	975,4	-15,7	-265,1	1142,9	
Mineralwolle (Boden)	3,00	85,00	0,04																
PE-Folie Decke	0,02	930,00	-																
Schüttung, Porenbetongranulat	4,00	400,00	0,09																
PE-Folie Decke	0,02	930,00	-																
Brettspertholz	14,00	489,41	0,13																
Lattung	1,54	484,51	-																
Mineralwolle (Innenausbau)	14,46	26,25	0,04																
GKF-Platte	1,25	800,00	0,25																

CFL wood _4	ab 2021	x	Zementestrich	7,50	2400,00	1,40	dataholz.eu, 2021.	156,5	1866,6	2954,7	60,4	392,1	3009,1									
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-	Bauteil gdmnxa02a,															
			Holzfaserdämmung (TSD)	5,00	160,00	0,04	aber mit Holzfaser-															
			Schüttung, Perlite 0-3	10,00	1000,00	0,06	dämmung, Perlit-															
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-	schüttung mit 80 mm,															
			Brettsperrholz	24,00	489,41	0,13	75 mm Estrichdicke															
			Lattung	0,58	484,51	0,13	und doppelter															
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	5,42	160,00	0,04	Beplankung mit Gipsfaserplatten; maximale BSH-Dicke mit 24 cm angenommen															
Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35																			
BP _h _1	ab 2021	x	Zementestrich	5,00	2400,00	1,40		125,5	1160,3	1352,6	111,2	959,5	1090,9									
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-																
			Mineralwolle (Boden)	5,00	85,00	0,04	Eigene Annahme															
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-	Ausführung minimale															
			Stahlbeton C20/25 (99/1)	20,00	2400,00	2,30	Umweltwirkungen;															
			PE-Folie Bodenplatte	0,02	26,25	-	Plattengründung,															
			Polystyrolämmung, XPS (BO)	17,00	32,00	0,04	kein stauendes															
			Sauberkeitsschicht	5,00	2400,00	-	Sickerwasser															
BP _h _2	ab 2021	x	Zementestrich	7,50	2400,00	1,40	Eigene Annahme	262,0	2275,5	2968,5	235,4	1891,9	2467,4									
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-	Ausführung															
			Holzfaserdämmung (TSD)	5,00	160,00	0,04	maximale															
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-	Umweltwirkungen;															
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	50,00	2400,00	2,50	Plattengründung bei															
			PE-Folie Bodenplatte	0,02	26,25	-	ungünstigem															
			Polystyrolämmung, XPS (BO)	20,00	32,00	0,04	Untergrund und															
			Sauberkeitsschicht	5,00	2400,00	-	hohen															
BP _uh _1	ab 2021	x	Zementestrich	5,00	2400,00	-	Eigene Annahme	83,8	606,2	753,0	77,5	521,6	642,5									
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-	Ausführung minimale															
			Polystyrolämmung Decke und Boden, EPS, WLS 040	2,00	18,50	-	Umweltwirkungen;															
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-	Plattengründung,															
			Stahlbeton C20/25 (99/1)	20,00	2400,00	-	kein stauendes															
			Sauberkeitsschicht	5,00	2400,00	-	Sickerwasser															
			BP _uh _2	ab 2021	x	Zementestrich	7,50							2400,00	-	Eigene Annahme	218,2	1691,6	2347,1	201,7	1456,5	2037,1
						PE-Folie Decke	0,02							930,00	-	Ausführung						
Holzfaserdämmung (TSD)	5,00	160,00				-	maximale Umwelt-															
PE-Folie Decke	0,02	930,00				-	wirkungen; Platten-															
Stahlbeton C30/37 (98/2)	50,00	2400,00				-	gründung bei															
Sauberkeitsschicht	5,00	2400,00				-	ungünstigem															
						-	Untergrund und															
						-	hohen Gründungs-															
			-	lasten, Ausführung als WU-Beton																		

Bauteilaufbauten – Erklärung Farbschema:

Bezeichnung der Bauteilschichten und ihrer Eigenschaften wie in Literatur und Quellenangaben

Änderungen (Homogenisierung der Materialbezeichnungen, Ergänzung/Homogenisierung von Schichtdicken, Rohdichten und Wärmeleitfähigkeiten)

A.3 Bilanzierte Neubaukonstruktionen

Tabelle A. 7: Übersicht über die bilanzierten Fensterkonstruktionen im Neubau inklusive der spezifischen Materialkennwerte und Umweltwirkungen; eigene Darstellung

Bauteilname	Zeitraum	Neubau	Aufbau				Literaturquelle	GWP (A-C) [kg CO ₂ -Äq.]	PENRT (A-C) [MJ]	PET (A-C) [MJ]	GWP (A-D) [kg CO ₂ -Äq.]	PENRT (A-D) [MJ]	PET (A-D) [MJ]
			Materialbezeichnung	Fläche [m ²]	Lauf-Meter [lfm]	Ge-wicht [kg]							
W alu _1	ab 2021	x	WDG, dreifach	0,9	-	-	Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017	155,5	1923,6	2223,0	127,9	1554,1	1742,0
			Aluminium-Blendrahmen, thermisch getrennt	0,1	0,8	-							
W alu _2	ab 2021	x	Aluminium-Flügelrahmen, thermisch getrennt	0,1	0,8	-	Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017	230,7	3064,0	3800,2	124,7	1652,7	1934,7
			Fugendichtungsband	0,4	4,0	0,11							
W plas _1	ab 2021	x	Fenstergriff	-	-	0,06	Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017	170,2	2053,2	2315,3	147,9	1793,6	2007,7
			Fensterbeschlag, Drehkipfenster	-	-	0,56							
W plas _2	ab 2021	x	WDG, dreifach	0,4	-	-	Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017	318,8	3841,4	4354,0	244,6	3089,8	3528,9
			Kunststoff-Blendrahmen	0,3	4,8	-							
W wood _1	ab 2021	x	Kunststoff-Flügelrahmen	0,3	4,8	-	Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017	140,3	1727,3	2219,6	123,5	1491,0	1918,1
			Fugendichtungsband	0,4	4,0	0,11							
W wood _2	ab 2021	x	Fenstergriff	-	-	0,06	Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017	139,5	1886,5	3779,7	98,2	1274,5	2991,7
			Fensterbeschlag, Drehkipfenster	-	-	0,56							
W wood _3	ab 2021	x	WDG, dreifach	0,4	-	-	Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017	145,4	1854,2	2649,9	122,0	1522,0	2224,0
			Aluminium-Blendrahmen	0,1	0,8	-							
W wood _4	ab 2021	x	Aluminium-Flügelrahmen	0,1	0,8	-	Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017	214,0	2994,7	6672,4	139,6	1880,3	5233,4
			Fugendichtungsband	0,4	4,0	0,11							
W wood _3	ab 2021	x	Fenstergriff	-	-	0,11	Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017	145,4	1854,2	2649,9	122,0	1522,0	2224,0
			Fensterbeschlag, Drehkipfenster	-	-	0,56							
W wood _4	ab 2021	x	Einfachverglasung	0,9	-	-	Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017	214,0	2994,7	6672,4	139,6	1880,3	5233,4
			WDG, zweifach	0,4	-	-							
W wood _4	ab 2021	x	Aluminium-Blendrahmen	0,6	9,6	-	Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017	214,0	2994,7	6672,4	139,6	1880,3	5233,4
			Aluminium-Flügelrahmen	0,6	9,6	-							
W wood _4	ab 2021	x	Fugendichtungsband	0,8	8	0,22	Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017	214,0	2994,7	6672,4	139,6	1880,3	5233,4
			Fenstergriff	-	-	0,11							
W wood _4	ab 2021	x	Fensterbeschlag, Doppelflügel Fenster	-	-	0,56	Eigene Annahme in Anlehnung an Verband Fenster + Fassade & Bundesverband Flachglas e.V., 2017	214,0	2994,7	6672,4	139,6	1880,3	5233,4
			Fensterbeschlag, Drehkipfenster	-	-	0,56							

Bauteilaufbauten – Erklärung Farbschema:

Eigene Annahmen in Anlehnung an die Literaturquelle

A.4 Bilanzierte Sanierungskonstruktionen

Nachfolgend werden alle bilanzierten Sanierungskonstruktionen beschrieben. Die Gliederung erfolgt nach Bauteil und typischer Baualtersklasse. Unter Angabe der schichtspezifischen Materialien, ihrer Rohdichten und Wärmeleitfähigkeiten sowie der verwendeten Literaturquellen sind die lebenszyklusbasierten Umweltwirkungen jeder Baukonstruktion dargestellt.

Tabelle A. 8: Übersicht über die bilanzierten opaken Sanierungskonstruktionen inklusive der spezifischen Materialkennwerte und Umweltwirkungen; eigene Darstellung

Bauteilname	Zeitraum	Zugehörige Baualtersklassen										Aufbau				Literaturquelle	GWP (A-C) [kg CO ₂ -Äq.]	PENRT (A-C) [MJ]	PET (A-C) [MJ]	GWP (A-D) [kg CO ₂ -Äq.]	PENRT (A-D) [MJ]	PET (A-D) [MJ]		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Materialbezeichnung	Stärke [cm]	Rohdichte [kg/m ³]								λ-Wert [W/mK]	
PRO_h_1	bis 1918	x										Blecheindeckung (Edelstahl)	0,04	7900,00	-		82,5	506,5	233,8	32,9	-157,7	317,6		
			PRO_h_2	bis 1918	x										Dachziegel	3,40	2180,00	-		128,0	1202,6	1972,9	73,6	359,3
PRO_h_3	1949-1957	x										Blecheindeckung (Edelstahl)	0,04	7850,00	-		101,0	503,8	201,9	42,9	-257,6	215,7		

A.4 Bilanzierte Sanierungskonstruktionen

PRO _h _4	1949- 1957	x	Dachziegel	3,40	2180,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion PRO_3; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung	136,3	989,3	1585,5	74,9	76,8	1068,8
			Lattung	0,38	484,51	-							
			Konterlattung	0,44	484,51	-							
			Holzfaserdämm- platte (DA)	2,20	160,00	0,05							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	9,47	160,00	0,04							
			Brettschichtholz	1,53	507,11	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	15,50	160,00	0,04							
			PE-Folie Dach	0,02	930,00	-							
			Dachziegel	2,75	2180,00	-							
			Lattung	0,50	484,51	-							
			Konterlattung	0,48	484,51	-							
			Sparren	2,50	492,92	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Schalung	2,40	484,51	0,14							
Holzwolle- Leichtbauplatte	5,00	360,00	0,09										
Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70										
								99,5	501,6	243,6	38,3	-303,2	256,7
PRO _h _5	1958- 1968	x	Blecheindeckung (Edelstahl)	0,04	7850,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion PRO_4; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung; Ausführung unter Verwendung von Hersteller- angaben (z.B. Bauder TOP VENT NSK)	135,6	997,4	1626,3	72,7	60,9	1106,2
			Strukturierte Trennlage (Kunststoff- faservlies)	0,16	81,25	-							
			Schalung	2,40	484,51	-							
			Konterlattung	0,49	484,51	-							
			Unterdeckbahn	0,02	262,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	12,69	26,25	0,04							
			Konstruktionsvollholz	2,31	529,00	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	8,42	26,25	0,04							
			PE-Folie Dach	0,02	930,00	-							
			Dachziegel	2,75	2180,00	-							
			Lattung	0,50	484,51	-							
			Konterlattung	0,48	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	10,00	-	-							
Schrägdachdämmun- g (unspezifisch)	4,00	30,00- 200,00	0,04										
Sparren	2,20	529,00	0,14										
Schalung	2,40	484,51	0,14										
Holzwolle- Leichtbauplatte	5,00	360,00	0,09										
Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70										
								135,6	997,4	1626,3	72,7	60,9	1106,2
PRO _h _6	1958- 1968	x	Dachziegel	3,40	2180,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion PRO_4; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung	135,6	997,4	1626,3	72,7	60,9	1106,2
			Lattung	0,38	484,51	-							
			Konterlattung	0,49	484,51	-							
			Holzfaserdämm- platte (DA)	2,20	160,00	0,05							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	12,92	160,00	0,04							
			Brettschichtholz	2,08	507,11	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	11,80	160,00	0,04							
			PE-Folie Dach	0,02	930,00	-							
			Dachziegel	2,75	2180,00	-							
			Lattung	0,50	484,51	-							
			Konterlattung	0,48	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	10,00	-	-							
			Schrägdachdämm- ung (unspezifisch)	4,00	30,00- 200,00	0,04							
			Sparren	2,20	492,92	0,14							
Schalung	2,40	484,51	0,14										
Holzwolle- Leichtbauplatte	5,00	360,00	0,09										
Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70										

PRO _h _7	bis 1948	x x	Blecheindeckung (Edelstahl)	0,04	7850,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion PRO_16; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung; Ausführung unter Verwendung von Hersteller- angaben (z.B. Bauder TOP VENT NSK)	67,6	520,5	427,2	22,7	-81,6	490,1
			Strukturierte Trennlage (Kunststoff-faservlies)	0,16	81,25	-							
			Schalung	2,40	484,51	-							
			Konterlattung	0,44	484,51	-							
			Unterdeckbahn	0,02	262,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	11,19	26,25	0,04							
			Konstruktionsvollholz	1,81	529,00	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	15,50	26,25	0,04							
			PE-Folie Dach	0,02	930,00	-							
			Dachziegel	2,75	2180,00	-							
			Lattung	0,50	484,51	-							
			Konterlattung	0,48	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Sparren	2,50	529,00	0,14							
Schilfrohrmatte	1,50	100,00	0,08										
Innenputz	1,00	900,00	1,00										
								106,1	1043,0	1942,9	55,6	247,9	1422,2
PRO _h _8	bis 1948	x x	Dachziegel	3,40	2180,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion PRO_16; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung	66,2	501,3	455,3	16,4	-168,6	504,6
			Lattung	0,38	484,51	-							
			Konterlattung	0,44	484,51	-							
			Holzfaserdämmplatte (DA)	2,20	160,00	0,05							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	12,06	160,00	0,04							
			Brettschichtholz	1,94	507,11	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	15,50	160,00	0,04							
			PE-Folie Dach	0,02	930,00	-							
			Dachziegel	2,75	2180,00	-							
			Lattung	0,50	484,51	-							
			Konterlattung	0,48	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Sparren	2,50	492,92	0,14							
			Schilfrohrmatte	1,50	100,00	0,08							
			Innenputz	1,00	900,00	1,00							
								66,2	501,3	455,3	16,4	-168,6	504,6
PRO _h _9	1969- 1983	x x	Blecheindeckung (Edelstahl)	0,04	7850,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion PRO_20; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung; Ausführung unter Verwendung von Hersteller- angaben (z.B. Bauder TOP VENT NSK)	66,2	501,3	455,3	16,4	-168,6	504,6
			Strukturierte Trennlage (Kunststoff-faservlies)	0,16	81,25	-							
			Schalung	2,40	484,51	-							
			Konterlattung	0,49	484,51	-							
			Unterdeckbahn	0,02	262,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	16,08	26,25	0,04							
			Konstruktionsvollholz	2,92	529,00	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	3,34	26,25	0,04							
			PE-Folie Dach	0,02	930,00	-							
			Dachziegel	2,75	2180,00	-							
			Lattung	0,50	484,51	-							
			Konterlattung	0,48	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	10,0/ 8,0/ 6,0/4,0	-	-							
			Schrägdachdämmung (unspezifisch)	10,00	30,00- 200,00	0,04							
Sparren	2,20	529,00	0,14										
Gipskartonplatte	1,25	800,00	0,25										

A.4 Bilanzierte Sanierungskonstruktionen

PRO _h _10	1969- 1983	x x	Dachziegel	3,40	2180,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion PRO_20; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung	110,1	1091,0	2094,4	53,7	203,1	1532,2
			Lattung	0,38	484,51	-							
			Konterlattung	0,49	484,51	-							
			Holzfaserdämm- platte (DA)	2,20	160,00	0,05							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	16,92	160,00	0,04							
			Brettschichtholz	3,08	507,11	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	11,80	160,00	0,04							
			PE-Folie Dach	0,02	930,00	-							
			Dachziegel	2,75	2180,00	-							
			Lattung	0,50	484,51	-							
			Konterlattung	0,48	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	10,0/ 8,0/ 6,0/4,0	-	-							
			Schrägdachdäm- mung (unspezifisch)	10,00	30,00- 200,00	0,04							
			Sparren	2,20	492,92	0,14							
Gipskartonplatte	1,25	800,00	0,25										
PRO _h _11	1949- 1978	x x x	Blecheindeckung (Edelstahl)	0,04	7850,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion PRO_21; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung; Ausführung unter Verwendung von Hersteller- angaben (z.B. Bauder TOP VENT NSK)	73,1	545,6	500,3	23,7	-110,7	538,0
			Strukturierte Trennlage (Kunststoff- faservlies)	0,16	81,25	-							
			Schalung	2,40	484,51	-							
			Konterlattung	0,49	484,51	-							
			Unterdeckbahn	0,02	262,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	14,38	26,25	0,04							
			Konstruktionsvollholz	2,62	529,00	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	11,80	26,25	0,04							
			PE-Folie Dach	0,02	930,00	-							
			Dachziegel	2,75	2180,00	-							
			Lattung	0,50	484,51	-							
			Konterlattung	0,48	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	4,00	-	-							
Bimshohlblockstein	8,50	900,00	0,28										
Sparren	2,20	529,00	0,14										
Holzwohle- Leichtbauplatte	2,00	360,00	0,09										
Innenputz	1,50	900,00	0,70										
PRO _h _12	1949- 1978	x x x	Dachziegel	3,40	2180,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion PRO_21; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung	111,4	1067,4	2002,3	56,9	220,8	1463,3
			Lattung	0,38	484,51	-							
			Konterlattung	0,49	484,51	-							
			Holzfaserdämm- platte (DA)	2,20	160,00	0,05							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	15,23	160,00	0,04							
			Brettschichtholz	2,77	507,11	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	11,80	160,00	0,04							
			PE-Folie Dach	0,02	930,00	-							
			Dachziegel	2,75	2180,00	-							
			Lattung	0,50	484,51	-							
			Konterlattung	0,48	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	4,00	-	-							
			Bimshohlblockstein	8,50	900,00	0,28							
			Sparren	2,20	492,92	0,14							
Holzwohle- Leichtbauplatte	2,00	360,00	0,09										
Innenputz	1,50	900,00	0,70										

PRO _h _13	bis 1978	x x x x x	Blecheindeckung (Edelstahl)	0,04	7850,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion PRO_23; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung; Ausführung unter Verwendung von Hersteller- angaben (z.B. Bauder TOP VENT NSK)	81,0	522,5	471,3	28,8	-160,9	461,8
			Strukturierte Trennlage (Kunststoff- faservlies)	0,16	81,25	-							
			Schalung	2,40	484,51	-							
			Konterlattung	0,49	484,51	-							
			Unterdeckbahn	0,02	262,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	13,54	26,25	0,04							
			Konstruktionsvollholz	2,46	529,00	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	11,80	26,25	0,04							
			PE-Folie Dach	0,02	930,00	-							
			Dachziegel	2,75	2180,00	-							
			Lattung	0,50	484,51	-							
			Konterlattung	0,48	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Sparren	2,20	529,00	0,14							
Holzwohle- Leichtbauplatte	5,00	360,00	0,09										
Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70										
PRO _h _14	bis 1978	x x x x x	Dachziegel	3,40	2180,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion PRO_23; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung	116,7	1013,5	1876,0	61,6	175,4	1322,5
			Lattung	0,38	484,51	-							
			Konterlattung	0,49	484,51	-							
			Holzfaserdämm- platte (DA)	2,20	160,00	0,05							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	13,54	160,00	0,04							
			Brettschichtholz	2,46	507,11	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	11,80	160,00	0,04							
			PE-Folie Dach	0,02	930,00	-							
			Dachziegel	2,75	2180,00	-							
			Lattung	0,50	484,51	-							
			Konterlattung	0,48	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Sparren	2,20	492,92	0,14							
			Holzwohle- Leichtbauplatte	5,00	360,00	0,09							
			Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70							
PRO _h _15	bis 1918	x	Blecheindeckung (Edelstahl)	0,04	7850,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion PRO_26; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung; Ausführung unter Verwendung von Hersteller- angaben (z.B. Bauder TOP VENT NSK)	83,4	562,2	416,1	30,6	-144,8	512,1
			Strukturierte Trennlage (Kunststoff- faservlies)	0,16	81,25	-							
			Schalung	2,40	484,51	-							
			Konterlattung	0,49	484,51	-							
			Unterdeckbahn	0,02	262,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	13,54	26,25	0,04							
			Konstruktionsvollholz	2,46	529,00	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	13,50	26,25	0,04							
			PE-Folie Dach	0,02	930,00	-							
			Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-							
			Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	0,13							
			Sparren	2,50	529,00	0,14							
			GKF-Platte	2,50	800,00	0,25							

A.4 Bilanzierte Sanierungskonstruktionen

PRO _h _16	bis 1918	x	Dachziegel	3,40	2180,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion PRO_26; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung	128,9	1251,5	2136,3	66,2	250,2	1642,8
			Lattung	0,38	484,51	-							
			Konterlattung	0,49	484,51	-							
			Holzfaserdämm- platte (DA)	2,20	160,00	0,05							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	9,31	160,00	0,04							
			Brettschichtholz	1,69	507,11	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	13,50	160,00	0,04							
			Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-							
			Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	0,13							
			Sparren	2,50	492,92	0,14							
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
			Lattung	0,58	484,51	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	5,42	160,00	0,04							
Gipsfaserplatte	1,80	1000,00	0,35										
PRO _h _17	1949- 1978	x x x	Blecheindeckung (Edelstahl)	0,04	7850,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion PRO_27; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung; Ausführung unter Verwendung von Hersteller- angaben (z.B. Bauder TOP VENT NSK)	53,2	573,5	752,6	16,2	78,1	780,2
			Strukturierte Trennlage (Kunststoff- faservlies)	0,16	81,25	-							
			Schalung	2,40	484,51	-							
			Konterlattung	0,28	484,51	-							
			Unterdeckbahn	0,02	262,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	18,70	26,25	0,04							
			Konstruktionsvollholz	2,30	529,00	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	13,70	26,25	0,04							
			PE-Folie Dach	0,02	930,00	-							
			Dachziegel	1,53	2180,00	-							
			Lattung	1,00	484,51	-							
			Stahlbeton B15-B25 (97/3)	1,30	2400,00	2,50							
			GKF-Platte	2,50	800	0,25							
PRO _h _18	1949- 1978	x x x	Dachziegel	3,40	2180,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion PRO_27; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung	104,7	1331,9	2733,6	53,3	466,1	2062,3
			Lattung	0,38	484,51	-							
			Konterlattung	0,28	484,51	-							
			Holzfaserdämm- platte (DA)	2,20	160,00	0,05							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	14,61	160,00	0,04							
			Brettschichtholz	1,39	507,11	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	13,70	160,00	0,04							
			Dachziegel	1,53	2180,00	-							
			Lattung	1,00	484,51	-							
			Stahlbeton B15-B25 (97/3)	1,30	2400,00	2,50							
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
			Lattung	0,58	484,51	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	5,42	160,00	0,04							
			Gipsfaserplatte	1,80	1000,00	0,35							

PRO _h _19	1991- 2000	x x	Blecheindeckung (Edelstahl)	0,04	7850,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion PRO_28; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung; Ausführung unter Verwendung von Hersteller- angaben (z.B. Bauder TOP VENT NSK)	84,0	523,8	313,4	6,8	-368,8	184,4
			Strukturierte Trennlage (Kunststoff-faservlies)	0,16	81,25	-							
			Schalung	2,40	484,51	-							
			Konterlattung	0,37	484,51	-							
			Unterdeckbahn	0,02	262,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	11,19	26,25	0,04							
			Konstruktionsvollholz	1,81	529,00	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	15,50	26,25	0,04							
			Zinkblech	0,20	7850,00	-							
			Bitumendachbahn	0,60	1000,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	0,13							
			PE-Folie Dach	0,10	930,00	-							
			Sparren	2,50	529,00	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	1,80	26,25	0,04							
			PE-Folie Dach	0,10	930,00	-							
PE-Folie Dach	0,02	930,00	-										
Gipskartonplatte	1,50	800,00	0,25										
PRO _h _20	1991- 2000	x x	Dachziegel	3,40	2180,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion PRO_28; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung	122,5	1046,3	1828,8	39,7	-39,3	1116,5
			Lattung	0,38	484,51	-							
			Konterlattung	0,37	484,51	-							
			Holzfaserdämm- platte (DA)	2,20	160,00	0,05							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	12,05	160,00	0,04							
			Brettschichtholz	1,95	507,11	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	15,50	160,00	0,04							
			Zinkblech	0,20	7850,00	-							
			Bitumendachbahn	0,60	1000,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	0,13							
			PE-Folie Dach	0,10	930,00	-							
			Sparren	2,50	492,92	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	1,80	26,25	0,04							
			PE-Folie Dach	0,10	930,00	-							
			PE-Folie Dach	0,02	930,00	-							
			Gipskartonplatte	1,50	800,00	0,25							
PRO _h _21	1961- 2000	x x x x x	Blecheindeckung (Edelstahl)	0,04	7850,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion PRO_29; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung; Ausführung unter Verwendung von Hersteller- angaben (z.B. Bauder TOP VENT NSK)	66,5	537,2	531,8	23,9	-34,7	588,4
			Strukturierte Trennlage (Kunststoff-faservlies)	0,16	81,25	-							
			Schalung	2,40	484,51	-							
			Konterlattung	0,43	484,51	-							
			Unterdeckbahn	0,02	262,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	11,27	26,25	0,04							
			Konstruktionsvollholz	1,73	529,00	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	15,60	26,25	0,04							
			PE-Folie Dach	0,02	930,00	-							
			Betondachstein	1,50	2150,00	-							
			Lattung	0,60	484,51	-							
			Sparren	2,40	529,00	0,13							
			GKF-Platte	2,50	800,00	0,25							

A.4 Bilanzierte Sanierungskonstruktionen

PRO _h _22	1961- 2000	x x x x x	Dachziegel	3,40	2180,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion PRO_29; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung	110,0	1200,6	2178,8	58,4	357,7	1671,5
			Lattung	0,38	484,51	-							
			Konterlattung	0,43	484,51	-							
			Holzfaserdämm- platte (DA)	2,20	160,00	0,05							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	6,07	160,00	0,04							
			Brettschichtholz	0,93	507,11	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	15,60	160,00	0,04							
			Betondachstein	1,50	2150,00	-							
			Lattung	0,60	484,51	-							
			Sparren	2,40	492,92	0,13							
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
			Lattung	0,58	484,51	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	5,42	160,00	0,04							
			Gipsfaserplatte	1,80	1000,00	0,35							
PRO _h _23	1961- 1990	x x x x	Blecheindeckung (Edelstahl)	0,04	7850,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion PRO_30; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung; Ausführung unter Verwendung von Hersteller- angaben (z.B. Bauder TOP VENT NSK)	66,7	508,8	442,0	29,1	4,8	479,1
			Strukturierte Trennlage (Kunststoff- faservlies)	0,16	81,25	-							
			Schalung	2,40	484,51	-							
			Konterlattung	0,34	484,51	-							
			Unterdeckbahn	0,02	262,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	1,81	26,25	0,04							
			Konstruktionsvollholz	0,19	529,00	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	23,50	26,25	0,04							
			PE-Folie Dach	0,02	930,00	-							
			Doppelrömer	1,20	2150,00	-							
			Lattung	0,60	484,51	-							
			Konterlattung	0,20	484,51	-							
			Holznagelbinder	2,50	529,00	0,13							
GKF-Platte	2,50	800,00	0,25										
PRO _h _24	1961- 1990	x x x x	Dachziegel	3,40	2180,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion PRO_30; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung	109,4	1162,7	2050,1	62,3	389,7	1549,7
			Lattung	0,38	484,51	-							
			Konterlattung	0,34	484,51	-							
			Holzfaserdämm- platte (DA)	2,20	160,00	0,05							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	23,50	160,00	0,04							
			Doppelrömer	1,20	2150,00	-							
			Lattung	0,60	484,51	-							
			Konterlattung	0,20	484,51	-							
			Holznagelbinder	2,50	529,00	0,13							
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
			Lattung	0,29	484,51	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	2,71	160,00	0,04							
			Gipsfaserplatte	1,80	1000,00	0,35							
			PRO _h _25	2002- 2020	x x x	Blecheindeckung (Edelstahl)							
Strukturierte Trennlage (Kunststoff- faservlies)	0,16	81,25				-							
Schalung	2,40	484,51				-							
Konterlattung	0,24	484,51				-							
Unterdeckbahn	0,02	262,00				-							
Schalung	2,40	484,51				0,13							
Konstruktionsvollholz	2,50	492,92				0,13							
Konstruktionsvollholz	0,19	492,92				0,13							
Mineralwolle (Innenausbau)	25,31	26,25				0,04							
PE-Folie Dach	0,02	930,00				-							
GKF-Platte	2,50	800,00				0,25							

PRO _h _26	2002- 2020	x x x	Blecheindeckung (Edelstahl) Strukturierte Trennlage (Kunststoff-faservlies)	0,04	7900,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion PRO_36; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung	123,4	807,5	1285,9	58,2	-206,5	770,8
			Schalung	2,40	484,51	-							
			Konterlattung	0,24	484,51	-							
			Unterdeckbahn	0,02	262,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	0,13							
			Konstruktionsvollholz	2,50	492,92	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	23,50	160,00	0,04							
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
			Lattung	0,48	484,51	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	4,52	160,00	0,04							
			Gipsfaserplatte	1,80	1000,00	0,35							
PRO _h _27	2002- 2020	x x x	Dachziegel	3,21	2180,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion PRO_39; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung	154,1	95,2	-684,5	99,5	-773,7	-961,6
			Lattung	0,80	484,51	-							
			Konterlattung	0,64	484,51	-							
			Unterdeckbahn	0,02	262,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	0,13							
			Brettschichtholz	4,03	507,11	0,13							
			Luftschicht, ruhend	7,70	-	0,55							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	16,26	160,00	0,04							
			Mineralwolle (Innenausbau)	7,70	26,25	0,04							
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
			Lattung	0,29	484,51	0,13							
Lattung	0,38	484,51	0,13										
Holzfaserdämmung (Innenausbau)	2,71	160,00	0,04										
Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35										
Mineralwolle (Innenausbau)	3,62	26,25	0,04										
GKF-Platte	2,50	800,00	0,25										
PRO _h _28	2002- 2020	x x x	Dachziegel	3,40	2180,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion PRO_39; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung	213,9	929,2	1126,0	133,7	-376,4	320,6
			Lattung	0,38	484,51	-							
			Konterlattung	0,34	484,51	-							
			Holzfaserdämm- platte (DA)	2,20	160,00	0,05							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	24,87	160,00	0,04							
			Dachziegel	3,21	2180,00	-							
			Lattung	0,80	484,51	-							
			Konterlattung	0,64	484,51	-							
			Unterdeckbahn	0,02	262,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	0,13							
			Konstruktionsvollholz	0,10	492,92	0,13							
Brettschichtholz	4,03	507,11	0,13										
Luftschicht, ruhend	7,70	-	0,55										
Holzfaserdämmung (Innenausbau)	16,26	160,00	0,04										
OSB-Platte	1,50	600,00	0,13										
Lattung	0,29	484,51	0,13										
Holzfaserdämmung (Innenausbau)	2,71	160,00	0,04										
Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35										

A.4 Bilanzierte Sanierungskonstruktionen

FRO wood _1	1958- 1968	x	PVC-Dachbahn	0,12	1250,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion FROwood_1; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung; Flachdachaus- führungen nach DIN 18531, Teil 1- 4 und DIN 18195; Kunststoffdach- bahn; Mindestdicke PE- Folie Decke nach DIN 18531-2, Abschn. 5.4	125,2	841,7	401,5	78,2	145,6	422,4
			Glasvlies Dach	0,05	229,40	-							
			OSB-Platte	2,50	600,00	0,13							
			Konstruktionsvollholz	1,06	492,92	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	9,94	26,25	0,04							
			Mineralwolle (Innenausbau)	15,50	26,25	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Kies	5,00	1850,00	-							
			Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-							
			Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	-							
			Flachdachdämmung (unspezifisch)	8,00	30,00- 200,00	0,04							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Holzbalken	2,50	529,00	0,14							
Schalung	2,40	484,51	0,14										
Holzwole- Leichtbauplatte	2,50	360,00	0,09										
Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70										
								205,6	2715,8	3718,8	103,1	1110,0	2994,8
FRO wood _2	1958- 1968	x	Vegetationssubstrat, 750 kg/m³	2,60	750,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion FROwood_1; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung; Flachdachaus- führungen nach DIN 18531, Teil 1- 4 und DIN 18195; Ausführung in Anlehnung an Optigrün Spardach und Retentionsdach Mäander 60 (Dicke) Vegetationssub- strat wie bei Spardach, denn je dicker das Substrat umso geringer das GWP (Kohlenstoff- speicher)	118,3	857,0	422,4	73,5	181,5	485,3
			Filtervlies, PP	0,03	95,50	-							
			Drainmatte, 2,8 kg/m²	0,29	46,70	-							
			Schutzvlies, 300 g/m²	0,08	83,30	-							
			Dachabdichtung, wurzelfest	0,40	1550,00	-							
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-							
			OSB-Platte	2,50	600,00	0,13							
			Brettschichtholz	3,68	507,11	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	19,32	26,25	0,04							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	13,00	26,25	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Brettschichtholz	2,50	507,11	0,13							
			Kies	5,00	1850,00	-							
			Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-							
			Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	-							
			Flachdachdämmung (unspezifisch)	8,00	30,00- 200,00	0,04							
Luftschicht, stark belüftet	-	-	-										
Holzbalken	2,50	529,00	0,14										
Gipsfaserplatte	2,50	800,00	0,25										
Schalung	2,40	484,51	0,14										
Holzwole- Leichtbauplatte	2,50	360,00	0,09										
Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70										
								118,3	857,0	422,4	73,5	181,5	485,3
FRO wood _3	1969- 1978	x	PVC-Dachbahn	0,12	1250,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion FROwood_2; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung; Flachdachaus- führungen nach DIN 18531, Teil 1- 4 und DIN 18195; Kunststoffdach- bahn; Mindestdicke PE- Folie Decke nach DIN 18531-2, Abschn. 5.4	118,3	857,0	422,4	73,5	181,5	485,3
			Glasvlies Dach	0,05	229,40	-							
			OSB-Platte	2,50	600,00	0,13							
			Konstruktionsvollholz	1,25	492,92	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	11,75	26,25	0,04							
			Mineralwolle (Innenausbau)	15,50	26,25	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Kies	5,00	1850,00	-							
			Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-							
			Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	-							
			Flachdachdämmung (unspezifisch)	10,00	30,00- 200,00	0,04							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Holzbalken	2,50	529,00	0,14							
Schalung	2,40	484,51	0,14										
Gipskartonplatte	1,25	680,00	0,21										

FRO wood _4	1969- 1978	x	Vegetationssubstrat, 750 kg/m³	2,60	750,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion FROwood_2; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung; Flachdachaus- führungen nach DIN 18531, Teil 1 4 und DIN 18195; Ausführung in Anlehnung an Optigrün Spardach und Retensionsdach Mäander 60 (Dicke Vegetations- substrat wie bei Spardach, denn je dicker das Substrat umso geringer das GWP (Kohlenstoff- speicher); Ver- stärkung Dach- decke mit Brettschichtholz- balken im halben Balkenabstand	197,8	2719,3	3722,5	98,2	1144,0	3037,5
			Filtervlies, PP	0,03	95,50	-							
			Drainmatte, 2,8 kg/m²	0,29	46,70	-							
			Schutzvlies, 300 g/m²	0,08	83,30	-							
			Dachabdichtung, wurzelfest	0,40	1550,00	-							
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-							
			OSB-Platte	2,50	600,00	0,13							
			Brettschichtholz	3,68	507,11	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	19,32	26,25	0,04							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	13,00	26,25	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Brettschichtholz	2,50	507,11	0,13							
			Kies	5,00	1850,00	-							
			Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-							
			Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	-							
			Flachdachdämmung (unspezifisch)	10,00	30,00- 200,00	0,04							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Holzbalken	2,50	529,00	0,14							
			Gipsfaserplatte	2,50	800,00	0,25							
Schalung	2,40	484,51	0,14										
Gipskartonplatte	1,25	680,00	0,21										
				108,9	849,0	510,0	68,3	230,9	555,9				
FRO wood _5	1969- 1978	x	PVC-Dachbahn	0,12	1250,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion FROwood_4; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung; Flachdachaus- führungen nach DIN 18531, Teil 1 4 und DIN 18195; Kunststoffdach- bahn; Mindestdicke PE- Folie Decke nach DIN 18531-2, Abschn. 5.4	108,9	849,0	510,0	68,3	230,9	555,9
			Glasvlies Dach	0,05	229,40	-							
			OSB-Platte	2,50	600,00	0,13							
			Konstruktionsvollholz	1,25	492,92	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	11,75	26,25	0,04							
			Mineralwolle (Innenausbau)	15,50	26,25	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Kies	5,00	1850,00	-							
			Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-							
			Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Mineralwolle (Flachdach)	6,00	30,00- 200,00	0,04							
			Holzbalken	2,50	529,00	0,14							
Profilbretter	1,25	484,51	0,21										
Innenputz	1,00	900,00	0,70										

A.4 Bilanzierte Sanierungskonstruktionen

FRO wood _6	1969- 1978	x	Vegetationssubstrat, 750 kg/m³	2,60	750,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion FROwood_4; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung; Flachdachaus- führungen nach DIN 18531, Teil 1 4 und DIN 18195; Ausführung in Anlehnung an Optigrün Spardach und Retensionsdach Mäander 60 (Dicke Vegetations- substrat wie bei Spardach, denn je dicker das Substrat umso geringer das GWP (Kohlenstoff- speicher); Ver- stärkung Dach- decke mit Brettschichtholz- balken im halben Balkenabstand	188,3	2711,3	3810,1	93,1	1193,3	3108,2
			Filtervlies, PP	0,03	95,50	-							
			Drainmatte, 2,8 kg/m²	0,29	46,70	-							
			Schutzvlies, 300 g/m²	0,08	83,30	-							
			Dachabdichtung, wurzelfest	0,40	1550,00	-							
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-							
			OSB-Platte	2,50	600,00	0,13							
			Brettschichtholz	3,68	507,11	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	19,32	26,25	0,04							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	13,00	26,25	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Brettschichtholz	2,50	507,11	0,13							
			Kies	5,00	1850,00	-							
			Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-							
			Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Mineralwolle (Flachdach)	6,00	30,00- 200,00	0,04							
			Holzbalken	2,50	529,00	0,14							
			Gipsfaserplatte	2,50	800,00	0,25							
Profilbretter	1,25	484,51	0,21										
Innenputz	1,00	900,00	0,70										
FRO wood _7	1919- 1945	x	PVC-Dachbahn	0,12	1250,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion FROwood_5; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung; Flachdachaus- führungen nach DIN 18531, Teil 1 4 und DIN 18195; Kunststoffdach- bahn; Mindestdicke PE-Folie Decke nach DIN 18531- 2, Abschn. 5.4	105,0	836,9	565,5	66,7	248,7	606,7
			Glasvlies Dach	0,05	229,40	-							
			OSB-Platte	2,50	600,00	0,13							
			Konstruktionsvollholz	1,25	492,92	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	11,75	26,25	0,04							
			Mineralwolle (Innenausbau)	15,50	26,25	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-							
			Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	-							
			Konterlattung	0,20	484,51	-							
			Kantholz	0,50	484,51	-							
			Sparren	2,50	429,29	0,14							
GKF-Platte	1,25	800,00	0,25										
FRO wood _8	1919- 1945	x	Vegetationssubstrat, 750 kg/m³	2,60	750,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion FROwood_5; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung; Flachdachaus- führungen nach DIN 18531, Teil 1 4 und DIN 18195; Ausführung in Anlehnung an Optigrün Spardach und Retensionsdach Mäander 60 (Dicke Vegetations- substrat wie bei Spardach, denn je dicker das Substrat umso geringer das GWP (Kohlenstoff- speicher); Ver- stärkung Dach- decke mit Brettschichtholz- balken im halben Balkenabstand	182,8	2687,1	3829,6	89,7	1199,1	3123,0
			Filtervlies, PP	0,03	95,50	-							
			Drainmatte, 2,8 kg/m²	0,29	46,70	-							
			Schutzvlies, 300 g/m²	0,08	83,30	-							
			Dachabdichtung, wurzelfest	0,40	1550,00	-							
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-							
			OSB-Platte	2,50	600,00	0,13							
			Brettschichtholz	3,68	507,11	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	19,32	26,25	0,04							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	13,00	26,25	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Brettschichtholz	2,50	507,11	0,13							
			Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-							
			Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	-							
			Konterlattung	0,20	484,51	-							
			Kantholz	0,50	484,51	-							
Sparren	2,50	429,29	0,14										
Gipsfaserplatte	2,50	800,00	0,25										

FRO wood _9	2002- 2020	x x x	PVC-Dachbahn	0,12	1250,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion FROwood_6; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung	150,0	1574,7	1655,4	67,5	-37,1	1537,4
			Glasvlies Dach	0,05	229,40	-							
			OSB-Platte	2,50	600,00	0,13							
			Konstruktionsvollholz	1,51	492,92	0,13							
			Zellulosefaser- Einblasdämmung	19,49	45,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			GKF-Platte	1,50	800,00	0,25							
			OSB-Platte	15,00	600,00	0,13							
			Lattung	0,77	484,51	0,13							
Mineralwolle (Innenausbau)	7,23	26,25	0,04										
GKF-Platte	1,25	800,00	0,25										
FRO wood _10	2002- 2020	x x x	Vegetationssubstrat, 750 kg/m³	2,60	750,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion FROwood_6; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung; Flachdachaus- führungen nach DIN 18531, Teil 1- 4 und DIN 18195; Ausführung in Anlehnung an Optigrün Spardach und Retensionsdach Mäander 60 (Dicke) Vegetations- substrat wie bei Spardach, denn je dicker das Substrat umso geringer das GWP (Kohlenstoff- speicher); Ver- stärkung Dach- decke mit Brettschichtholz- balken im halben Balkenabstand	182,5	2449,7	3468,5	100,2	1057,2	2595,2
			Filtervlies, PP	0,03	95,50	-							
			Drainmatte, 2,8 kg/m²	0,29	46,70	-							
			Schutzvlies, 300 g/m²	0,08	83,30	-							
			Dachabdichtung, wurzelfest	0,40	1550,00	-							
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-							
			OSB-Platte	2,50	600,00	0,13							
			Brettschichtholz	2,02	507,11	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	29,96	26,25	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Brettschichtholz	1,50	507,11	0,13							
			PVC-Dachbahn	0,12	1250,00	-							
			Glasvlies Dach	0,05	229,40	-							
			OSB-Platte	2,50	600,00	0,13							
			Konstruktionsvollholz	1,51	492,92	0,13							
			Zellulosefaser- Einblasdämmung	19,49	45,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
GKF-Platte	1,50	800,00	0,25										

A.4 Bilanzierte Sanierungskonstruktionen

FRO wood _11	2002- 2020	x x x	Vegetationssubstrat, 750 kg/m³	2,60	750,00	-	254,6	1080,1	-778,7	150,5	-485,2	-825,9	
			Filtervlies, PP	0,03	95,50	-							
			Drainmatte, 2,8 kg/m²	0,29	46,70	-							
			Schutzvlies, 300 g/m²	0,08	83,30	-							
			Dachabdichtung, wurzelfest	0,40	1550,00	-							Grundlage Altbau- konstruktion
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-							FROwood_9;
			Polystyrolämmung, XPS (DA)	12,00	32,00	0,04							minimale Umwelt- wirkungen
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-							Sanierung
			Brettsperholz	24,00	489,41	0,13							
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
			Lattung	0,77	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	7,23	26,25	0,04							
GKF-Platte	1,25	800,00	0,25										
FRO wood _12	2002- 2020	x x x	Vegetationssubstrat, 750 kg/m³	2,60	750,00	-	324,1	2593,0	803,5	207,5	840,2	454,6	
			Filtervlies, PP	0,03	95,50	-							Grundlage Altbau- konstruktion
			Drainmatte, 2,8 kg/m²	0,29	46,70	-							FROwood_9;
			Schutzvlies, 300 g/m²	0,08	83,30	-							maximale Umwelt- wirkungen
			Dachabdichtung, wurzelfest	0,40	1550,00	-							Sanierung;
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-							Flachdachaus- führungen nach
			Polystyrolämmung, XPS (DA)	20,00	32,00	0,04							DIN 18531, Teil 1
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-							4 und DIN 18195;
			Vegetationssubstrat, 750 kg/m³	2,60	750,00	-							Ausführung in
			Filtervlies, PP	0,03	95,50	-							Anlehnung an
			Drainmatte, 2,8 kg/m²	0,29	46,70	-							Optigrün
			Schutzvlies, 300 g/m²	0,08	83,30	-							Spardach und
			Dachabdichtung, wurzelfest	0,40	1550,00	-							Retensionsdach
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-							Mäander 60 (Dicke
			Polystyrolämmung, XPS (DA)	12,00	32,00	0,04							Vegetations- substrat wie bei
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-							Spardach, denn
			Brettsperholz	24,00	489,41	0,13							je dicker das
Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	Substrat umso geringer das									
PVC-Dachbahn	0,12	1250,00	-	GWP									
Glasvlies Dach	0,05	229,40	-	(Kohlenstoff- speicher)									
FRO mas _1	1958- 1968	x	Polystyrolämmung Flachdach, EPS 035	24,00	26,90	0,04	177,6	1057,9	86,0	113,2	170,2	-37,5	
			PE-Folie Dach	0,02	930,00	-							Grundlage Altbau- konstruktion
			Kies	5,00	1850,00	-							FROmas_1;
			Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-							minimale Umwelt- wirkungen
			Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-							Sanierung;
			Schalung	2,40	484,51	-							Flachdachaus- führungen nach
			Flachdachämmung (unspezifisch)	8,00	30,00- 200,00	0,04							DIN 18531, Teil 1
			Luftschicht, stark belüftet	2,00	-	-							4 und DIN 18195;
			Holzbalken	10,00	529,00	0,14							Kunststoffdach- bahn;
			Stahlbeton B15-B25 (96/4)	15,00	2400,00	1,51							Mindestdicke PE- Folie Decke nach
			Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70							DIN 18531-2, Abschn. 5.4

FRO mas _2	1958- 1968	x	Vegetationssubstrat, 750 kg/m³	2,60	750,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion FROmas_1; - maximale Umwelt- wirkungen - Sanierung; - Flachdachaus- führungen nach DIN 18531, Teil 1- 4 und DIN 18195; - Ausführung in Anlehnung an Optigrün - Spardach und Retentionsdach Mäander 60 (Dicke - Vegetations- substrat wie bei Spardach, denn je dicker das Substrat umso geringer das GWP (Kohlenstoff- speicher)	215,4	2381,5	1529,7	141,8	1367,4	1212,2
			Filtervlies, PP	0,03	95,50	-							
			Drainmatte, 2,8 kg/m²	0,29	46,70	-							
			Schutzvlies, 300 g/m²	0,08	83,30	-							
			Dachabdichtung, wurzelfest	0,40	1550,00	-							
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (DA)	24,00	529,00	0,04							
			PE-Folie Dach	0,02	930,00	-							
			Kies	5,00	1850,00	-							
			Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-							
			Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-							
			Schalung	2,40	484,51	-							
			Flachdachämmung (unspezifisch)	8,00	30,00- 200,00	0,04							
Luftschicht, stark belüftet	2,00	-	-										
Holzbalken	10,00	529,00	0,14										
Stahlbeton B15-B25 (96/4)	15,00	2400,00	1,51										
Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70										
<hr/>													
FRO mas _3	1969- 1978	x	PVC-Dachbahn	0,12	1250,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion FROmas_2; - minimale Umwelt- wirkungen - Sanierung; - Flachdachaus- führungen nach DIN 18531, Teil 1- 4 und DIN 18195; - Kunststoffdach- bahn; - Mindestdicke PE- Folie Decke nach DIN 18531-2, Abschn. 5.4	97,8	1052,4	917,2	70,7	665,6	649,2
			Glasvlies Dach	0,05	229,40	-							
			Polystyrolämmung Flachdach, EPS 035	24,00	26,90	0,04							
			PE-Folie Dach	0,02	930,00	-							
			Kies	5,00	1850,00	-							
			Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-							
			Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-							
			Flachdachämmung (unspezifisch)	8,00	30,00- 200,00	0,04							
			Holzbalken	2,50	529,00	0,14							
			Stahlbeton B15-B25 (96/4)	15,00	2400,00	1,51							
Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70										
<hr/>													
FRO mas _4	1969- 1978	x	Vegetationssubstrat, 750 kg/m³	2,60	750,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion FROmas_2; - maximale Umwelt- wirkungen Sa- nierung; Flach- dachausführun- gen nach DIN 18531, Teil 1-4 und DIN 18195; - Ausführung in Anlehnung an Optigrün Spar- dach und Reten- sionsdach Mä- ander 60 (Dicke - Vegetations- substrat wie bei Spardach, denn je dicker das Substrat umso geringer das GWP (Kohlen- stoffspeicher)	135,5	2376,0	2360,9	99,3	1862,9	1898,8
			Filtervlies, PP	0,03	95,50	-							
			Drainmatte, 2,8 kg/m²	0,29	46,70	-							
			Schutzvlies, 300 g/m²	0,08	83,30	-							
			Dachabdichtung, wurzelfest	0,40	1550,00	-							
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (DA)	24,00	529,00	0,04							
			PE-Folie Dach	0,02	930,00	-							
			Kies	5,00	1850,00	-							
			Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-							
			Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-							
			Flachdachämmung (unspezifisch)	8,00	30,00- 200,00	0,04							
			Holzbalken	2,50	529,00	0,14							
Stahlbeton B15-B25 (96/4)	15,00	2400,00	1,51										
Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70										
<hr/>													
FRO mas _5	1949- 1978	x x x	PVC-Dachbahn	0,12	1250,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion FROmas_4; - minimale Umwelt- wirkungen Sa- nierung; Flach- dachausführun- gen nach DIN 18531, Teil 1-4 und DIN 18195; - Kunststoffdach- bahn; Mindest- dicke PE-Folie Decke nach DIN 18531-2, Abschn. 5.4	77,0	1038,5	1114,5	59,4	778,7	810,0
			Glasvlies Dach	0,05	229,40	-							
			Polystyrolämmung Flachdach, EPS 035	24,00	26,90	0,04							
			PE-Folie Dach	0,02	930,00	-							
			Kies	5,00	1850,00	-							
			Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-							
			Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-							
			Flachdachämmung (unspezifisch)	2,00	30,00- 200,00	0,04							
Stahlbeton B15-B25 (96/4)	15,00	2400,00	1,51										

A.4 Bilanzierte Sanierungskonstruktionen

FRO mas _6	1949- 1978	x x x	Vegetationssubstrat, 750 kg/m³	2,60	750,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion FROmas_4; maximale Umwelt- wirkungen Sa- nierung; Flach- dachausführun- gen nach DIN 18531, Teil 1-4 und DIN 18195; Ausführung in Anlehnung an Optigrün Spar- dach und Reten- sionsdach Mä- ander 60 (Dicke Vegetations- substrat wie bei Spardach, denn je dicker das Substrat umso geringer das GWP (Kohlen- stoffspeicher)	114,7	2362,1	2558,2	88,0	1976,0	2059,7
			Filtervlies, PP	0,03	95,50	-							
			Drainmatte, 2,8 kg/m²	0,29	46,70	-							
			Schutzvlies, 300 g/m²	0,08	83,30	-							
			Dachabdichtung, wurzelfest	0,40	1550,00	-							
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (DA)	24,00	529,00	0,04							
			PE-Folie Dach	0,02	930,00	-							
			Kies	5,00	1850,00	-							
			Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-							
Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-										
Flachdachämmung (unspezifisch)	2,00	30,00- 200,00	0,04										
Stahlbeton B15-B25 (96/4)	15,00	2400,00	1,51										
<hr/>													
FRO mas _7	1949- 1978	x x x	PVC-Dachbahn	0,12	1250,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion FROmas_6; minimale Umwelt- wirkungen Sa- nierung; Flach- dachausführun- gen nach DIN 18531, Teil 1-4 und DIN 18195; Kunststoffdach- bahn; Mindest- dicke PE-Folie Decke nach DIN 18531-2, Abschn. 5.4	76,2	1025,1	1098,7	61,2	800,0	840,5
			Glasvlies Dach	0,05	229,40	-							
			Polystyrolämmung Flachdach, EPS 035	24,00	26,90	0,04							
			PE-Folie Dach	0,02	930,00	-							
			Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-							
			Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-							
			Zementestrich	2,00	2400,00	1,40							
Stahlbeton B15-B25 (96/4)	3,00	2400,00	2,50										
<hr/>													
FRO mas _8	1949- 1978	x x x	Vegetationssubstrat, 750 kg/m³	2,60	750,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion FROmas_6; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung; Flach- dachausführun- gen nach DIN 18531, Teil 1-4 und DIN 18195; Ausführung in Anlehnung an Optigrün Spar- dach und Reten- sionsdach Mä- ander 60 (Dicke Vegetations- substrat wie bei Spardach, denn je dicker das Substrat umso geringer das GWP (Kohlen- stoffspeicher)	114,0	2348,7	2542,4	89,9	1997,3	2090,1
			Filtervlies, PP	0,03	95,50	-							
			Drainmatte, 2,8 kg/m²	0,29	46,70	-							
			Schutzvlies, 300 g/m²	0,08	83,30	-							
			Dachabdichtung, wurzelfest	0,40	1550,00	-							
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (DA)	24,00	529,00	0,04							
			PE-Folie Dach	0,02	930,00	-							
			Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-							
			Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-							
Zementestrich	2,00	2400,00	1,40										
Stahlbeton B15-B25 (96/4)	3,00	2400,00	2,50										
<hr/>													
FRO mas _9	1949- 1994	x x x x x	PVC-Dachbahn	0,12	1250,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion FROmas_7; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung; Flach- dachausführun- gen nach DIN 18531, Teil 1-4 und DIN 18195; Kunststoffdach- bahn; Mindest- dicke PE-Folie Decke nach DIN 18531-2, Abschn. 5.4	76,4	1027,4	1101,5	60,8	794,2	832,6
			Glasvlies Dach	0,05	229,40	-							
			Polystyrolämmung Flachdach, EPS 035	24,00	26,90	0,04							
			PE-Folie Dach	0,02	930,00	-							
			Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-							
			Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-							
			Zementestrich	2,00	2400,00	1,40							
Stahlbeton B15-B25 (96/4)	6,00	2400,00	2,50										

FRO mas _10	1949- 1994	x x x x x	Vegetationssubstrat, 750 kg/m³	2,60	750,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion FROmas_7; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung; Flach- dachausführun- gen nach DIN 18531, Teil 1-4 und DIN 18195; Ausführung in Anlehnung an Optigrün Spar- dach und Reten- sionsdach Mä- ander 60 (Dicke Vegetations- substrat wie bei Spardach, denn je dicker das Substrat umso geringer das GWP (Kohlen- stoffspeicher)	114,1	2351,0	2545,3	89,4	1991,5	2082,2
			Filtervlies, PP	0,03	95,50	-							
			Drainmatte, 2,8 kg/m²	0,29	46,70	-							
			Schutzvlies, 300 g/m²	0,08	83,30	-							
			Dachabdichtung, wurzelfest	0,40	1550,00	-							
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (DA)	24,00	529,00	0,04							
			PE-Folie Dach	0,02	930,00	-							
			Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-							
			Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-							
Zementestrich	2,00	2400,00	1,40										
Stahlbeton B15-B25 (96/4)	6,00	2400,00	2,50										
<hr/>													
FRO mas _11	1979- 1994	x x	PVC-Dachbahn	0,12	1250,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion FROmas_8; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung; Flach- dachausführun- gen nach DIN 18531, Teil 1-4 und DIN 18195; Kunststoffdach- bahn; Mindest- dicke PE-Folie Decke nach DIN 18531-2, Abschn. 5.4	76,4	1027,4	1101,5	60,8	794,2	832,6
			Glasvlies Dach	0,05	229,40	-							
			Polystyrolämmung Flachdach, EPS 035	24,00	26,90	0,04							
			PE-Folie Dach	0,02	930,00	-							
			Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-							
			Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-							
			Ausgleichsestrich	2,00	2400,00	1,40							
Stahlbeton B15-B25 (96/4)	6,00	2400,00	2,50										
<hr/>													
FRO mas _12	1979- 1994	x x	Vegetationssubstrat, 750 kg/m³	2,60	750,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion FROmas_8; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung; Flach- dachausführun- gen nach DIN 18531, Teil 1-4 und DIN 18195; Ausführung in Anlehnung an Optigrün Spar- dach und Reten- sionsdach Mä- ander 60 (Dicke Vegetations- substrat wie bei Spardach, denn je dicker das Substrat umso geringer das GWP (Kohlen- stoffspeicher)	114,1	2351,0	2545,3	89,4	1991,5	2082,2
			Filtervlies, PP	0,03	95,50	-							
			Drainmatte, 2,8 kg/m²	0,29	46,70	-							
			Schutzvlies, 300 g/m²	0,08	83,30	-							
			Dachabdichtung, wurzelfest	0,40	1550,00	-							
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (DA)	24,00	529,00	0,04							
			PE-Folie Dach	0,02	930,00	-							
			Bitumendachbahn, besandet	0,40	1000,00	-							
			Bitumendachbahn	0,80	1000,00	-							
Ausgleichsestrich	2,00	2400,00	1,40										
Stahlbeton B15-B25 (96/4)	6,00	2400,00	2,50										
<hr/>													
FRO mas _13	1979- 1990	x x	PVC-Dachbahn	0,12	1250,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion FROmas_11; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung; Flachdachaus- führungen nach DIN 18531, Teil 1- 4 und DIN 18195; Kunststoffdach- bahn; Mindestdicke PE- Folie Decke nach DIN 18531-2, Abschn. 5.4	84,7	1053,1	1129,7	64,3	751,9	776,7
			Glasvlies Dach	0,05	229,40	-							
			Polystyrolämmung Flachdach, EPS 035	24,00	26,90	0,04							
			PE-Folie Dach	0,02	930,00	-							
			Schiefersplitt in Bitumenemulsion	1,00	1045,00	-							
			Bitumendachbahn	1,20	1000,00	-							
			Schaumpolystyrol- Gefällebeton	3,50	350,00	1,51							
			Bitumendachbahn	0,40	1000,00	-							
			Dämmung Flachdach (EPS)	5,00	18,00	0,04							
			Bitumendachbahn	0,40	1000,00	-							
Stahlbeton B15-B25 (96/4)	14,00	2400,00	1,51										

A.4 Bilanzierte Sanierungskonstruktionen

FRO mas _14	1979- 1990	x	x	Vegetationssubstrat, 750 kg/m³	2,60	750,00	- Grundlage Altbau-	122,4	2376,7	2573,4	92,9	1949,1	2026,3
				Filtervlies, PP	0,03	95,50	- konstruktion						
				Drainmatte, 2,8 kg/m²	0,29	46,70	- FROMas_11;						
				Schutzvlies, 300 g/m²	0,08	83,30	- maximale Umwelt-						
				Dachabdichtung, wurzelfest	0,40	1550,00	- wirkungen						
				Bitumendachbahn	0,50	1000,00	- Sanierung; Flach-						
				Polystyrolämmung, XPS (DA)	24,00	529,00	0,04 dachausführun-						
				PE-Folie Dach	0,02	930,00	- gen nach DIN						
				Schiefersplitt in Bitumenemulsion	1,00	1045,00	- 18531, Teil 1-4						
				Bitumendachbahn	1,20	1000,00	- und DIN 18195;						
				Schaumpolystyrol-Gefällebeton	3,50	350,00	1,51 Ausführung in						
				Bitumendachbahn	0,40	1000,00	- Anlehnung an						
				Dämmung Flachdach (EPS)	5,00	18,00	0,04 Optigrün Spar-						
				Bitumendachbahn	0,40	1000,00	- dach und Reten-						
Stahlbeton B15-B25 (96/4)	14,00	2400,00	1,51 sionsdach Mä-										
FRO mas _15	1995- 2001	x		PVC-Dachbahn	0,12	1250,00	- Grundlage Altbau-	73,0	947,8	1024,9	54,8	679,3	709,1
				Glasvlies Dach	0,05	229,40	- konstruktion						
				Polystyrolämmung Flachdach, EPS 035	13,00	26,90	0,04 FROMas_12;						
				PVC-Dachbahn	0,12	1250,00	- minimale Umwelt-						
				Glasvlies Dach	0,05	229,40	- wirkungen						
				Polystyrolämmung Flachdach, EPS 035	11,00	26,90	0,04 Sanierung; Flach-						
				Bitumendachbahn	0,50	1000,00	- dachausführun-						
Stahlbeton C20/25 (99/1)	16,00	2400,00	2,30 gen nach DIN										
FRO mas _16	1995- 2001	x	x	Vegetationssubstrat, 750 kg/m³	2,60	750,00	- Grundlage Altbau-	127,8	2351,4	2548,9	95,0	1873,2	1946,2
				Filtervlies, PP	0,03	95,50	- konstruktion						
				Drainmatte, 2,8 kg/m²	0,29	46,70	- FROMas_12;						
				Schutzvlies, 300 g/m²	0,08	83,30	- maximale Umwelt-						
				Dachabdichtung, wurzelfest	0,40	1550,00	- wirkungen						
				Bitumendachbahn	0,50	1000,00	- Sanierung; Flach-						
				Polystyrolämmung, XPS (DA)	24,00	529,00	0,04 dachausführun-						
				PE-Folie Dach	0,02	930,00	- gen nach DIN						
				PVC-Dachbahn	0,12	1250,00	- 18531, Teil 1-4						
				Glasvlies Dach	0,05	229,40	- und DIN 18195;						
				Polystyrolämmung Flachdach, EPS 035	11,00	26,90	0,04 Ausführung in						
				Bitumendachbahn	0,50	1000,00	- Kunststoffdach-						
				Stahlbeton C20/25 (99/1)	16,00	2400,00	2,30 bahn; Mindest-						
FRO mas _17	1995- 2001	x	x	PVC-Dachbahn	0,12	1250,00	- Grundlage Altbau-	85,4	944,1	1022,0	60,0	576,4	561,8
				Glasvlies Dach	0,05	229,40	- konstruktion						
				Polystyrolämmung Flachdach, EPS 035	12,00	26,90	0,04 FROMas_13;						
				Vegetationssubstrat, 750 kg/m³	2,60	750,00	- minimale Umwelt-						
				Filtervlies, PP	0,03	95,50	- wirkungen						
				Drainmatte, 2,8 kg/m²	0,29	46,70	- Sanierung;						
				Schutzvlies, 300 g/m²	0,08	83,30	- Flachdachaus-						
				Dachabdichtung, wurzelfest	0,40	1550,00	- führungen nach						
				Bitumendachbahn	0,50	1000,00	- DIN 18531, Teil 1-						
				Polystyrolämmung, XPS (DA)	13,00	32,00	0,04 4 und DIN 18195;						
				Bitumendachbahn	0,50	1000,00	- Kunststoffdach-						
				Stahlbeton C30/37 (98/2)	24,00	2400,00	2,50 bahn;						
				Innenputz	2,00	900,00	0,70 Mindestdicke PE-						

FRO mas _18	1995- 2001	x	Vegetationssubstrat, 750 kg/m³	2,60	750,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion FROmas_13; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung; Flach- dachausführun- gen nach DIN 18531, Teil 1-4 und DIN 18195; Ausführung in Anlehnung an Optigrün Spardach und Retensionsdach Mäander 60 (Dicke Vegetations- substrat wie bei Spardach, denn je dicker das Substrat umso geringer das GWP (Kohlenstoff- speicher)	141,9	2370,1	2568,7	101,4	1785,9	1814,1
			Filtervlies, PP	0,03	95,50	-							
			Drainmatte, 2,8 kg/m²	0,29	46,70	-							
			Schutzvlies, 300 g/m²	0,08	83,30	-							
			Dachabdichtung, wurzelfest	0,40	1550,00	-							
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (DA)	24,00	529,00	0,04							
			PE-Folie Dach	0,02	930,00	-							
			Vegetationssubstrat, 750 kg/m³	2,60	750,00	-							
			Filtervlies, PP	0,03	95,50	-							
			Drainmatte, 2,8 kg/m²	0,29	46,70	-							
			Schutzvlies, 300 g/m²	0,08	83,30	-							
			Dachabdichtung, wurzelfest	0,40	1550,00	-							
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-							
Polystyrolämmung, XPS (DA)	13,00	32,00	0,04										
Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-										
Stahlbeton C30/37 (98/2)	24,00	2400,00	2,50										
Innenputz	2,00	900,00	0,70										
								68,5	814,0	889,4	50,3	545,5	573,7
FRO mas _19	2002- 2020	x x x	PVC-Dachbahn	0,12	1250,00	-	Grundlage Alt- baukonstruktion FROmas_14; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung; Flach- dachausführun- gen nach DIN 18531, Teil 1-4 und DIN 18195; Kunststoffdach- bahn; Mindest- dicke PE-Folie Decke nach DIN 18531-2, Abschn. 5.4	68,5	814,0	889,4	50,3	545,5	573,7
			Glasvlies Dach	0,05	229,40	-							
			Polystyrolämmung Flachdach, EPS 035	7,00	26,90	0,04							
			PVC-Dachbahn	0,12	1250,00	-							
			Glasvlies Dach	0,05	229,40	-							
			Polystyrolämmung Flachdach, EPS 035	17,00	26,90	0,04							
Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-										
Stahlbeton C20/25 (99/1)	16,00	2400,00	2,40										
								133,0	2352,1	2549,6	97,4	1832,5	1901,6
FRO mas _20	2002- 2020	x x x	Vegetationssubstrat, 750 kg/m³	2,60	750,00	-	Grundlage Alt- baukonstruktion FROmas_14; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung; Flach- dachausführun- gen nach DIN 18531, Teil 1-4 und DIN 18195; Ausführung in Anlehnung an Optigrün Spar- dach und Reten- sionsdach Mä- ander 60 (Dicke Vegetations- substrat wie bei Spardach, denn je dicker das Substrat umso geringer das GWP (Kohlen- stoffspeicher)	133,0	2352,1	2549,6	97,4	1832,5	1901,6
			Filtervlies, PP	0,03	95,50	-							
			Drainmatte, 2,8 kg/m²	0,29	46,70	-							
			Schutzvlies, 300 g/m²	0,08	83,30	-							
			Dachabdichtung, wurzelfest	0,40	1550,00	-							
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (DA)	24,00	529,00	0,04							
			PE-Folie Dach	0,02	930,00	-							
			PVC-Dachbahn	0,12	1250,00	-							
			Glasvlies Dach	0,05	229,40	-							
			Polystyrolämmung Flachdach, EPS 035	17,00	26,90	0,04							
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-							
			Stahlbeton C20/25 (99/1)	16,00	2400,00	2,40							

A.4 Bilanzierte Sanierungsstrukturen

FRO mas _21	2002- 2020	x x x	PVC-Dachbahn	0,12	1250,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion FROmas_15; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung; Flachdachaus- führungen nach DIN 18531, Teil 1- 4 und DIN 18195; Kunststoffdach- bahn; Mindestdicke PE-Folie Decke nach DIN 18531- 2, Abschn. 5.4	84,5	833,1	909,9	58,3	456,5	431,6
			Glasvlies Dach	0,05	229,40	-							
			Polystyrolämmung Flachdach, EPS 035	7,00	26,90	0,04							
			Vegetationssubstrat, 750 kg/m³	2,60	750,00	-							
			Filtervlies, PP	0,03	95,50	-							
			Drainmatte, 2,8 kg/m²	0,29	46,70	-							
			Schutzvlies, 300 g/m²	0,08	83,30	-							
			Dachabdichtung, wurzelfest	0,40	1550,00	-							
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (DA)	19,00	32,00	0,04							
Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-										
Stahlbeton C30/37 (98/2)	24,00	2400,00	2,50										
Innenputz	2,00	900,00	0,70										
FRO mas _22	2002- 2020	x x x	Vegetationssubstrat, 750 kg/m³	2,60	750,00	-	Grundlage Altbau- konstruktion FROmas_15; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung; Flach- dachausführun- gen nach DIN 18531, Teil 1-4 und DIN 18195; Ausführung in Anlehnung an Optigrün Spar- dach und Reten- sionsdach Mä- ander 60 (Dicke Vegetations- substrat wie bei Spardach, denn je dicker das Substrat umso geringer das GWP (Kohlen- stoffspeicher)	152,0	2729,5	2936,0	109,1	2109,3	2135,1
			Filtervlies, PP	0,03	95,50	-							
			Drainmatte, 2,8 kg/m²	0,29	46,70	-							
			Schutzvlies, 300 g/m²	0,08	83,30	-							
			Dachabdichtung, wurzelfest	0,40	1550,00	-							
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (DA)	24,00	32,00	0,04							
			Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-							
			Vegetationssubstrat, 750 kg/m³	2,60	750,00	-							
			Filtervlies, PP	0,03	95,50	-							
Drainmatte, 2,8 kg/m²	0,29	46,70	-										
Schutzvlies, 300 g/m²	0,08	83,30	-										
Dachabdichtung, wurzelfest	0,40	1550,00	-										
Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-										
Polystyrolämmung, XPS (DA)	19,00	32,00	0,04										
Bitumendachbahn	0,50	1000,00	-										
Stahlbeton C30/37 (98/2)	24,00	2400,00	2,50										
Innenputz	2,00	900,00	0,70										
EW mas _1	bis 1918	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EWmas_2; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung mit WDVS und Mineralfaser- platte	41,6	498,6	589,9	38,9	459,3	547,1
			Vollziegel	51,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Außenputz, nach Sanierung innenliegend	1,50	1800,00	0,87							
EW mas _2	bis 1918	x	Mineralwolle (Außenwand) WDVS Verklebung und Beschichtung	14,00	46,25	0,04	Grundlage Altbau- konstruktion EWmas_2; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung mit hinter-/belüfteter Fassade aus Faserzement- platten und Holzfaserdämm- platten	66,7	943,1	1752,6	37,3	485,0	1402,5
			Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70							
			Vollziegel	51,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Außenputz, nach Sanierung innenliegend	1,50	1800,00	0,87							
			Holzfaserdämm- platte (VF)	17,44	46,25	0,04							
			Lattung	2,56	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
Konterlattung Vorhangfassade (Faserzementplatten)	0,38	484,51	-										
1,00	1300,00	-											
EW mas _3	bis 1918	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	Grundlage Alt- baukonstruktion EWmas_3; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung mit WDVS und Mineralfaser- platte	44,0	486,9	578,2	43,0	471,5	561,3
			Vollziegel	20,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Mineralwolle (Außenwand) WDVS Verklebung und Beschichtung	16,00	46,25	0,04							

EW mas _4	bis 1918	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	Grundlage Alt- baukonstruktion EWmas_3; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung mit hinter-/belüfteter Fassade aus Faserzement- platten und Holzfaserdämm- platten	69,2	930,3	1802,8	38,8	456,5	1448,0
			Vollziegel	20,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Holzfaserdämm- platte (VF)	19,18	46,25	0,04							
			Lattung	2,82	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
			Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-							
EW mas _5	bis 1918	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EWmas_33; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung mit WDVS und Mineralfaser- platte	41,6	498,6	589,9	38,9	459,3	547,1
			Vollziegel	51,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Außenputz, nach Sanierung innenliegend	1,50	1800,00	0,87							
			Mineralwolle (Außenwand)	14,00	46,25	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							
EW mas _6	bis 1918	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EWmas_33; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung mit hinter-/belüfteter Fassade aus Faserzement- platten und Holzfaserdämm- platten	66,7	943,1	1752,6	37,3	485,0	1402,5
			Vollziegel	51,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Außenputz, nach Sanierung innenliegend	1,50	1800,00	0,87							
			Holzfaserdämm- platte (VF)	17,44	46,25	0,04							
			Lattung	2,56	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
			Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-							
EW mas _7	bis 1968	x x x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	Grundlage Alt- baukonstruktion EWmas_60; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung mit WDVS und Mineralfaser- platte	42,6	510,2	603,5	39,9	470,9	560,6
			Vollziegel	51,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Mineralwolle (Außenwand)	15,00	46,25	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							
EW mas _8	bis 1968	x x x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	Grundlage Alt- baukonstruktion EWmas_60; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung mit hinter-/belüfteter Fassade aus Faserzement- platten und Holzfaserdämm- platten	66,3	937,2	1745,9	36,9	479,1	1395,8
			Vollziegel	51,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Holzfaserdämm- platte (VF)	17,44	46,25	0,04							
			Lattung	2,56	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
			Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-							
EW mas _9	1919- 1945	x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Grundlage Alt- baukonstruktion EWmas_70; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung mit WDVS und Mineralfaser- platte	44,1	477,4	567,5	43,5	468,2	557,4
			Vollziegel/Mörtel	12,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Mineralwolle (Außenwand)	16,00	46,25	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							
EW mas _10	1919- 1945	x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EWmas_70; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung mit hinter-/belüfteter Fassade aus Faserzement- platten und Holzfaserdämm- platten	70,6	937,7	1843,5	39,5	450,3	1480,0
			Vollziegel/Mörtel	12,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Holzfaserdämm- platte (VF)	20,06	46,25	0,04							
			Lattung	2,94	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
			Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-							

A.4 Bilanzierte Sanierungskonstruktionen

EW mas _11	1949- 1978	x x x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EWmas_73; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung mit WDVS und Mineralfaser- platte	45,8	485,1	578,5	41,6	429,9	504,7
			Stahlbeton B15-B25 (95/5)	20,80	2400,00	2,50							
			Außenputz, nach Sanierung innenliegend	2,00	1800,00	1,00							
			Mineralwolle (Außenwand)	16,00	46,25	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							
EW mas _12	1949- 1978	x x x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EWmas_73; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung mit hinter-/belüfteter Fassade aus Faserzement- platten und Holzfaserdämm- platten	72,4	945,3	1854,4	37,6	412,0	1427,3
			Stahlbeton B15-B25 (95/5)	20,80	2400,00	2,50							
			Außenputz, nach Sanierung innenliegend	2,00	1800,00	1,00							
			Holzfaserdämm- platte (VF)	20,06	46,25	0,04							
			Lattung	2,94	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
Vorhangfassade (Faserzementplatten)	1,00	1300,00	-										
EW mas _13	1949- 1994	x x x x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3)	7,50	2400,00	2,50	Grundlage Altbau- konstruktion EWmas_74; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung mit WDVS und Mineralfaser- platte	45,8	481,9	574,0	44,2	461,6	546,9
			Mineralwolle (Außenwand)	17,00	46,25	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							
EW mas _14	1949- 1994	x x x x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3)	7,50	2400,00	2,50	Grundlage Altbau- konstruktion EWmas_74; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung mit hinter-/belüfteter Fassade aus Faserzement- platten und Holzfaserdämm- platten	70,9	924,7	1829,7	38,8	426,2	1449,2
			Holzfaserdämm- platte (VF)	20,06	46,25	0,04							
			Lattung	2,94	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
			Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-							
EW mas _15	1979- 1990	x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3)	27,40	2400,00	2,50	Grundlage Altbau- konstruktion EWmas_76; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung mit WDVS und Mineralfaser- platte	45,5	479,6	573,0	39,8	405,4	473,8
			Mineralwolle (Außenwand)	16,00	46,25	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							
EW mas _16	1979- 1990	x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3)	27,40	2400,00	2,50	Grundlage Altbau- konstruktion EWmas_76; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung mit hinter-/belüfteter Fassade aus Faserzement- platten und Holzfaserdämm- platten	72,0	939,9	1848,9	35,8	387,5	1396,4
			Holzfaserdämm- platte (VF)	20,06	46,25	0,04							
			Lattung	2,94	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
			Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-							
EW mas _17	1961- 2000	x x x x x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EWmas_81; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung mit WDVS und Mineralfaser- platte	40,2	421,1	502,1	40,0	418,3	498,5
			Gasbeton(block/ -steine)	24,00	472,00/ 2000,00	0,16							
			Außenputz, nach Sanierung innenliegend	2,00	1800,00	1,00							
			Mineralwolle (Außenwand)	12,00	46,25	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							

EW mas _18	1961- 2000	x x x x x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EWmas_81; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung mit hinter-/belüfteter Fassade aus Faserzement- platten und Holzfaserdämm- platten	62,7	832,9	1500,2	40,7	490,5	1250,9
			Gasbeton(block/ -steine)	24,00	472,00/ 2000,00	0,16							
			Außenputz, nach Sanierung innenliegend	2,00	1800,00	1,00							
			Holzfaserdämm- platte (VF)	13,95	46,25	0,04							
			Lattung	2,05	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-										
EW mas _19	1961- 2000	x x x x x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EWmas_82; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung mit WDVS und Mineralfaser- platte	40,3	465,0	551,7	38,4	436,9	521,1
			Hochlochziegel (75/25)	36,50	800,00/ 2000,00	0,35							
			Außenputz, nach Sanierung innenliegend	2,00	1800,00	1,00							
			Mineralwolle (Außenwand)	13,00	46,25	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							
EW mas _20	1961- 2000	x x x x x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EWmas_82; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung mit hinter-/belüfteter Fassade aus Faserzement- platten und Holzfaserdämm- platten	64,1	893,1	1632,1	38,0	485,8	1324,9
			Hochlochziegel (75/25)	36,50	800,00/ 2000,00	0,35							
			Außenputz, nach Sanierung innenliegend	2,00	1800,00	1,00							
			Holzfaserdämm- platte (VF)	15,70	46,25	0,04							
			Lattung	2,30	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-										
EW mas _21	2002- 2009	x x x	Innenputz	1,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EWmas_84; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung mit WDVS und Mineralfaser- platte	27,8	301,7	364,1	26,1	277,1	337,3
			Hochlochziegel (99,6/0,4)	24,00	575,00	0,08/ 0,09							
			Außenputz, nach Sanierung innenliegend	2,00	900,00	1,00							
			Mineralwolle (Außenwand)	6,00	46,25	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	900,00	1,00							
EW mas _22	2002- 2009	x x x	Innenputz	1,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EWmas_84; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung mit hinter-/belüfteter Fassade aus Faserzement- platten und Holzfaserdämm- platten	50,5	717,0	1176,1	34,6	471,6	995,8
			Hochlochziegel (99,6/0,4)	24,00	575,00	0,08/ 0,09							
			Außenputz, nach Sanierung innenliegend	2,00	900,00	1,00							
			Holzfaserdämm- platte (VF)	8,72	46,25	0,04							
			Lattung	1,28	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-										
EW mas _23	2002- 2009	x	Innenputz	1,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EWmas_85; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung mit WDVS und Mineralfaser- platte; lt. Hersteller St. Gobain Weber Aufbringung eines WDVS auf ein bestehendes WDVS mit spezieller Technik möglich	40,2	423,6	504,3	40,2	423,6	504,3
			Kalksandstein (99,2/0,8)	17,50	1800,00	0,99							
			Mineralwolle (Außenwand)	7,50	46,25	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung, nach Sanierung innenliegend	2,00	900,00	1,00							
			Mineralwolle (Außenwand)	8,50	46,25	0,04							
WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	900,00	1,00										

A.4 Bilanzierte Sanierungskonstruktionen

EW mas _24	2002- 2009	x	Innenputz	1,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EWmas_85; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung mit hinter-/belüfteter Fassade aus Faserzement- platten und Holzfaserdämm- platten	72,1	949,6	1856,1	41,6	471,4	1502,8										
			Kalksandstein (99,2/0,8)	17,50	1800,00	0,99																	
			Mineralwolle (Außenwand)	7,50	46,25	0,04																	
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	900,00	1,00																	
			Holzfaserdämm- platte (VF)	20,06	46,25	0,04																	
			Lattung	2,94	484,51	0,13																	
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-																	
			Konterlattung	0,38	484,51	-																	
			Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-																	
			<hr/>																				
EW mas _25	2010- 2020	x x	Innenputz	1,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EWmas_86; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung mit WDVS und Mineralfaser- platte; lt. Hersteller St. Gobain Weber Aufbringung eines WDVS auf ein bestehendes WDVS mit spezieller Technik möglich	38,0	399,1	475,8	38,0	399,1	475,8										
			Kalksandstein (99,2/0,8)	17,50	1800,00	0,99																	
			Mineralwolle (Außenwand)	10,50	46,25	0,04																	
			WDVS Verklebung und Beschichtung, nach Sanierung innenliegend	2,00	900,00	1,00																	
			Mineralwolle (Außenwand)	5,50	46,25	0,04																	
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	900,00	1,00																	
			<hr/>																				
			EW mas _26	2010- 2020	x x	Innenputz								1,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EWmas_86; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung mit hinter-/belüfteter Fassade aus Faserzement- platten und Holzfaserdämm- platten	72,2	951,3	1857,9	41,7	473,1	1504,6
						Kalksandstein (99,2/0,8)								17,50	1800,00	0,99							
						Mineralwolle (Außenwand)								10,50	46,25	0,04							
WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	900,00				1,00																	
Holzfaserdämm- platte (VF)	20,06	46,25				0,04																	
Lattung	2,94	484,51				0,13																	
Winddichtheitsbahn	0,02	262,00				-																	
Konterlattung	0,38	484,51				-																	
Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00				-																	
<hr/>																							
EW 2shel- led _1	bis 1918	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EW2shelled_2; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung mit WDVS (Mineralfaser- platte) und Zwischendäm- mung (Zellulose)	42,2	452,5	594,9	38,9	406,3	537,9										
			Vollziegel	12,00	1800,00/ 2000,00	0,79																	
			Luftschicht, ruhend (30% einbindende Mauerziegel angenommen)	10,00	-	-																	
			Zellulosefaser- Einblasdämmung	7,00	45,00	0,04/ 0,79																	
			Vormauerziegel	12,00	1800,00/ 2000,00	0,79																	
			Außenputz, nach Sanierung innenliegend	1,50	1800,00	0,87																	
			Mineralwolle (Außenwand)	12,00	46,25	0,04																	
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00																	
			<hr/>																				
			EW 2shel- led _2	bis 1918	x	Kalkgipsputz								1,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EW2shelled_2; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung mit hinter-/belüfteter Fassade aus Faserzement- platten und Holzfaserdämm- platten	71,3	959,2	1835,2	40,9	484,1	1478,1
Vollziegel	12,00	1800,00/ 2000,00				0,79																	
Luftschicht, ruhend (30% einbindende Mauerziegel angenommen)	10,00	-				-																	
Vormauerziegel	12,00	1800,00/ 2000,00				0,79																	
Außenputz, nach Sanierung innenliegend	1,50	1800,00				0,87																	
Holzfaserdämm- platte (VF)	19,18	46,25				0,04																	
Lattung	2,82	484,51				0,13																	
Winddichtheitsbahn	0,02	262,00				-																	
Konterlattung	0,38	484,51				-																	
Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00				-																	

EW 2shel- led _3	1949- 1957	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	45,8	493,0	617,5	44,5	475,3	594,7	
			Kalksandstein (75/25)	30,00	1800,00/2000,00	0,99							
			Luftschicht, ruhend (30% einbindende Kalksandsteine angenommen)	6,00	-	-							Grundlage Altbaukonstruktion EW2shelled_7;
			Zellulosefaser-Einblasdämmung	4,20	45,00	0,04/0,99							minimale Umweltwirkungen
			Vormauerschale (Kalksand-Vollstein)	11,50	1800,00/2000,00	0,99							Sanierung mit WDVS (Mineralfaserplatte) und Zwischendämmung (Zellulose)
			Glattputz (Kalkzement), nach Sanierung innenliegend	1,50	1800,00	0,87							
			Mineralwolle (Außenwand)	13,00	46,25	0,04							
WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00										
<hr/>													
EW 2shel- led _4	1949- 1957	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	74,2	984,8	1863,6	44,9	526,4	1525,6	
			Kalksandstein (75/25)	30,00	1800,00/2000,00	0,99							
			Luftschicht, ruhend (30% einbindende Kalksandsteine angenommen)	6,00	-	-							Grundlage Altbaukonstruktion EW2shelled_7;
			Vormauerschale (Kalksand-Vollstein)	11,50	1800,00/2000,00	0,99							maximale Umweltwirkungen
			Glattputz (Kalkzement), nach Sanierung innenliegend	1,50	1800,00	0,87							Sanierung mit hinter-/belüfteter Fassade aus Faserzementplatten und Holzfaserdämmplatten
			Holzfaserdämmplatte (VF)	19,18	46,25	0,04							
			Lattung	2,82	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
			Vorhangfassade (Faserzementplatten)	1,00	1300,00	-							
<hr/>													
EW 2shel- led _5	1958- 1968	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	47,4	520,4	631,1	45,4	493,6	596,7	
			Ziegelsplittbeton	24,00	1200,00	0,58							
			Luftschicht, ruhend (30% einbindende Ziegelsplittbetonsteine angenommen)	3,00	-	-							Grundlage Altbaukonstruktion EW2shelled_10;
			Zellulosefaser-Einblasdämmung	2,10	45,00	0,04/0,58							minimale Umweltwirkungen
			Vormauerziegel	11,50	1400,00/2000,00	0,60							Sanierung mit WDVS (Mineralfaserplatte) und Zwischendämmung (Zellulose)
			Glattputz (Kalkzement), nach Sanierung innenliegend	1,50	1800,00	0,87							
			Mineralwolle (Außenwand)	14,00	46,25	0,04							
WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00										
<hr/>													
EW 2shel- led _6	1958- 1968	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	72,1	962,9	1774,1	44,0	526,2	1443,9	
			Ziegelsplittbeton	24,00	1200,00	0,58							
			Luftschicht, ruhend (30% einbindende Ziegelsplittbetonsteine angenommen)	3,00	-	-							Grundlage Altbaukonstruktion EW2shelled_10;
			Vormauerziegel	11,50	1400,00/2000,00	0,60							maximale Umweltwirkungen
			Glattputz (Kalkzement), nach Sanierung innenliegend	1,50	1800,00	0,87							Sanierung mit hinter-/belüfteter Fassade aus Faserzementplatten und Holzfaserdämmplatten
			Holzfaserdämmplatte (VF)	17,44	46,25	0,04							
			Lattung	2,56	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
			Vorhangfassade (Faserzementplatten)	1,00	1300,00	-							

A.4 Bilanzierte Sanierungskonstruktionen

EW 2shel- led _7	1969- 1978	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EW2shelled_14; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung mit WDVS (Mineralfaser- platte) und Zwischendäm- mung (Zellulose)	39,2	404,4	516,5	37,4	379,1	484,0
			Porenbeton	24,00	600,00	0,23							
			Luftschicht, ruhend (30% einbindende Porenbetonsteine angenommen)	6,00	-	-							
			Zellulosefaser- Einblasdämmung	4,20	45,00	0,04/ 0,23							
			Vormauerziegel	11,50	1400,00/ 2000,00	0,60							
			Mineralwolle (Außenwand)	10,00	46,25	0,04							
WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00										
								66,3	881,1	1618,4	41,5	494,3	1332,1
EW 2shel- led _8	1969- 1978	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EW2shelled_14; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung mit hinter-/belüfteter Fassade aus Faserzement- platten und Holzfaserdämm- platten	66,3	881,1	1618,4	41,5	494,3	1332,1
			Porenbeton	24,00	600,00	0,23							
			Luftschicht, ruhend (30% einbindende Porenbetonsteine angenommen)	6,00	-	-							
			Vormauerziegel	11,50	1400,00/ 2000,00	0,60							
			Holzfaserdämm- platte (VF)	15,70	46,25	0,04							
			Lattung	2,30	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
			Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-							
								43,1	474,2	596,7	40,4	436,8	551,5
EW 2shel- led _9	1919- 1948	x	Innenputz	1,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EW2shelled_19; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung mit WDVS (Mineralfaser- platte) und Zwischendäm- mung (Zellulose)	43,1	474,2	596,7	40,4	436,8	551,5
			Vollziegel	17,50	1800,00/ 2000,00	0,68							
			Luftschicht, ruhend (30% einbindende Mauerziegel angenommen)	6,00	-	0,18							
			Zellulosefaser- Einblasdämmung	4,20	45,00	0,04/ 0,68							
			Vormauerziegel	12,00	1800,00/ 2000,00	0,68							
			Außenputz, nach Sanierung innenliegend	1,50	1800,00	0,87							
Mineralwolle (Außenwand)	13,00	46,25	0,04										
WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00										
								71,5	966,1	1842,9	40,8	487,9	1482,4
EW 2shel- led _10	1919- 1948	x	Innenputz	1,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EW2shelled_19; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung mit hinter-/belüfteter Fassade aus Faserzement- platten und Holzfaserdämm- platten	71,5	966,1	1842,9	40,8	487,9	1482,4
			Vollziegel	17,50	1800,00/ 2000,00	0,68							
			Luftschicht, ruhend (30% einbindende Mauerziegel angenommen)	6,00	-	0,18							
			Vormauerziegel	12,00	1800,00/ 2000,00	0,68							
			Außenputz, nach Sanierung innenliegend	1,50	1800,00	0,87							
			Holzfaserdämm- platte (VF)	19,18	46,25	0,04							
			Lattung	2,82	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-										
								40,8	445,0	569,8	37,8	403,8	520,8
EW 2shel- led _11	bis 1978	x x x x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EW2shelled_20; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung mit WDVS (Mineralfaser- platte) und Zwischendäm- mung (Zellulose)	40,8	445,0	569,8	37,8	403,8	520,8
			Vollziegel	12,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Luftschicht, ruhend (30% einbindende Mauerziegel angenommen)	7,00	-	0,79							
			Zellulosefaser- Einblasdämmung	4,90	45,00	0,04/ 0,79							
			Vollziegel	12,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Mineralwolle (Außenwand)	13,00	46,25	0,04							
WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00										

EW 2shel- led _12	bis 1978	x x x x x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EW2shelled_20; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung mit hinter-/belüfteter Fassade aus Faserzement- platten und Holzfaserdämm- platten	69,0	936,2	1809,4	38,3	457,2	1448,9
			Vollziegel	12,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Luftschicht, ruhend (30% einbindende Mauerziegel angenommen)	7,00	-	0,79							
			Vollziegel	12,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Holzfaserdämm- platte (VF)	19,18	46,25	0,04							
			Lattung	2,82	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
Konterlattung	0,38	484,51	-										
Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-										
EW 2shel- led _13	1971- 1990	x x x	Normalbeton	15,00	2350,00	2,10	Grundlage Altbau- konstruktion EW2shelled_21; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung mit WDVS (Mineralfaser- platte)	46,0	418,8	500,9	40,0	336,8	393,3
			Polystyrolämmung, XPS (AW)	5,00	30,00	0,04							
			Schwerbeton	6,00	2350,00	2,10							
			Mineralwolle (Außenwand)	12,00	46,25	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							
EW 2shel- led _14	1971- 1990	x x x	Normalbeton	15,00	2350,00	2,10	Grundlage Altbau- konstruktion EW2shelled_21; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung mit hinter-/belüfteter Fassade aus Faserzement- platten und Holzfaserdämm- platten	68,4	830,6	1499,0	40,7	409,0	1145,7
			Polystyrolämmung, XPS (AW)	5,00	30,00	0,04							
			Schwerbeton	6,00	2350,00	2,10							
			Holzfaserdämm- platte (VF)	13,95	46,25	0,04							
			Lattung	2,05	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-										
EW 2shel- led _15	1981- 1990	x x	Normalbeton	15,00	2350,00	2,10	Grundlage Altbau- konstruktion EW2shelled_22; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung mit WDVS (Mineralfaser- platte)	46,0	418,8	500,9	40,0	336,8	393,3
			Polystyrolämmung, XPS (AW)	5,00	30,00	0,04							
			Schwerbeton	6,00	2350,00	2,10							
			Mineralwolle (Außenwand)	12,00	46,25	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							
EW 2shel- led _16	1981- 1990	x x	Normalbeton	15,00	2350,00	2,10	Grundlage Altbau- konstruktion EW2shelled_22; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung mit hinter-/belüfteter Fassade aus Faserzement- platten und Holzfaserdämm- platten	68,4	830,6	1499,0	40,7	409,0	1145,7
			Polystyrolämmung, XPS (AW)	5,00	30,00	0,04							
			Schwerbeton	6,00	2350,00	2,10							
			Holzfaserdämm- platte (VF)	13,95	46,25	0,04							
			Lattung	2,05	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-										
EW 2shel- led _17	1976- 1990	x x x	Normalbeton	15,00	2350,00	2,10	Grundlage Altbau- konstruktion EW2shelled_23; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung mit WDVS (Mineral- faserplatte)	46,0	418,8	500,9	40,0	336,8	393,3
			Polystyrolämmung, XPS (AW)	5,00	30,00	0,04							
			Schwerbeton	6,00	2350,00	2,10							
			Mineralwolle (Außenwand)	12,00	46,25	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							
EW 2shel- led _18	1976- 1990	x x x	Normalbeton	15,00	2350,00	2,10	Grundlage Altbau- konstruktion EW2shelled_23; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung mit hinter-/belüfteter Fassade aus Faserzement- platten und Holzfaserdämm- platten	68,4	830,6	1499,0	40,7	409,0	1145,7
			Polystyrolämmung, XPS (AW)	5,00	30,00	0,04							
			Schwerbeton	6,00	2350,00	2,10							
			Holzfaserdämm- platte (VF)	13,95	46,25	0,04							
			Lattung	2,05	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-										

A.4 Bilanzierte Sanierungskonstruktionen

EW 2shel- led _19	1979- 1990	x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3)	19,00	2400,00	2,50	Grundlage Altbau- konstruktion EW2shelled_26; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung mit WDVS (Mineral- faserplatte)	41,2	392,9	471,8	35,6	316,6	375,6
			Polystyrol- dämmung Wand und Dach, EPS	5,00	18,00	0,04							
			Leichtbeton	6,00	501,00/ 2000,00	0,22							
			Fliesen	0,50	2000,00/ 1500,00	1,30							
			Mineralwolle (Außenwand)	11,00	46,25	0,04							
WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00										
EW 2shel- led _20	1979- 1990	x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3)	19,00	2400,00	2,50	Grundlage Altbau- konstruktion EW2shelled_26; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung mit hinter-/belüfteter Fassade aus Faserzement- platten und Holzfaserdämm- platten	65,1	822,2	1490,1	37,8	406,3	1148,2
			Polystyrol- dämmung Wand und Dach, EPS	5,00	18,00	0,04							
			Leichtbeton	6,00	501,00/ 2000,00	0,22							
			Fliesen	0,50	2000,00/ 1500,00	1,30							
			Holzfaserdämm- platte (VF)	13,95	46,25	0,04							
			Lattung	2,05	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
			Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-							
EW cwf _1	1969- 1978	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EWcwf_4; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung mit WDVS (Mineral- faserplatte)	98,2	1092,4	1236,6	93,6	1041,0	1194,1
			Kalksandstein (75/25)	24,00	1400,00/ 2000,00	0,70							
			Dämmung AW (Holzwolle-VF)	3,00	30,00- 200,00	0,04							
			Lattung	0,30	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,50	1300,00	-							
			Mineralwolle (Außenwand)	13,00	46,25	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							
EW cwf _2	1969- 1978	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EWcwf_4; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung mit hinter-/belüfteter Fassade aus Faserzement- platten und Holzfaserdämm- platten	127,6	1588,3	2522,0	93,8	1078,5	2141,5
			Kalksandstein (75/25)	24,00	1400,00/ 2000,00	0,70							
			Dämmung AW (Holzwolle-VF)	3,00	30,00- 200,00	0,04							
			Lattung	0,30	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,50	1300,00	-							
			Holzfaserdämm- platte (VF)	19,18	46,25	0,04							
			Lattung	2,82	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
			Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-							
EW cwf _3	1969- 1978	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EWcwf_5; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung mit WDVS (Mineral- faserplatte)	80,7	492,7	362,6	62,6	264,8	279,4
			Ortbeton	16,00	2400,00	1,51							
			Dämmung AW (Holzwolle-VF)	4,00	30,00- 200,00	0,04							
			Lattung	0,30	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Vorhangfassade (Holzverschalung, lackiert)	2,40	500,00	-							
			Mineralwolle (Außenwand)	17,00	46,25	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							

EW cwf _4	1969- 1978	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EWcwf_5; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung mit hinter-/belüfteter Fassade aus Faserzement- platten und Holzfaserdämm- platten	107,2	952,4	1669,5	57,3	226,6	1217,6
			Ortbeton	16,00	2400,00	1,51							
			Dämmung AW (Holzwolle-VF)	4,00	30,00- 200,00	0,04							
			Lattung	0,30	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Vorhangfassade (Holzverschalung, lackiert)	2,40	500,00	-							
			Holzfaserdämm- platte (VF)	20,93	46,25	0,04							
			Lattung	3,07	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
Konterlattung	0,38	484,51	-										
Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-										
EW cwf _5	bis 1918	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EWcwf_8; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung mit WDVS (Mineral- faserplatte)	84,6	592,1	354,9	67,4	364,2	388,4
			Naturstein- mauerwerk	40,00	2600,00/ 2000,00	2,33							
			Lattung	0,30	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Vorhangfassade (Annahme: Laubholz, natur)	2,40	761,60	-							
			Mineralwolle (Außenwand)	16,00	46,25	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							
EW cwf _6	bis 1918	x	Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EWcwf_8; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung mit hinter-/belüfteter Fassade aus Faserzement- platten und Holzfaserdämm- platten	111,1	1052,4	1630,8	63,5	346,3	1311,0
			Naturstein- mauerwerk	40,00	2600,00/ 2000,00	2,33							
			Lattung	0,30	484,51	-							
			Luftschicht, stark belüftet	-	-	-							
			Vorhangfassade (Annahme: Laubholz, natur)	2,40	761,60	-							
			Holzfaserdämm- platte (VF)	20,06	46,25	0,04							
			Lattung	2,94	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-										
EW cwf _7	2002- 2020	x x x	Innenputz	2,00	900,00	0,70	keine energetische Sanierung erforderlich, da Dämmstandard bereits erfüllt ist	34,2	457,9	486,3	32,5	434,8	486,0
			Porenbeton P4 05 (95/5)	36,50	380,00	0,07							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
			Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-							
EW cwf _8	2002- 2020	x x x	Innenputz	2,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EWcwf_13; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung mit hinter-/belüfteter Fassade aus Faserzement- platten und Holzfaserdämm- platten	82,1	1106,0	1488,8	69,9	921,4	1381,1
			Porenbeton P4 05 (95/5)	36,50	380,00	0,11							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
			Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-							
			Holzfaserdämm- platte (VF)	6,10	46,25	0,04							
			Lattung	0,90	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-										

A.4 Bilanzierte Sanierungskonstruktionen

EW cwf _9	2002- 2009	x	Innenputz	2,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EWcwf_14; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung mit Aufdopplung der Dämmebene mit Mineralwolle; Fassade wird weiterverwendet, - da technische Nutzungsdauer noch nicht erreicht ist	81,8	573,0	566,5	56,8	208,8	310,2
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	30,00	380,00	2,50							
			Holzfaserdämm- platte (VF)	9,04	160,00	0,04							
			Lattung	0,96	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Mineralwolle (VF)	9,59	160,00	0,04							
			Lattung	1,41	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
			Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-							
								143,0	1374,9	2230,0	93,0	607,0	1605,0
EW cwf _10	2002- 2009	x	Innenputz	2,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EWcwf_14; - maximale Umwelt- wirkungen Sanierung inkl. Komplettaus- tausch hinter-/belüfteter Fassade aus Faserzement- platten und Holzfaserdämm- platten	143,0	1374,9	2230,0	93,0	607,0	1605,0
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	30,00	380,00	2,50							
			Holzfaserdämm- platte (VF)	9,04	160,00	0,04							
			Lattung	0,96	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
			Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-							
			Holzfaserdämm- platte (VF)	20,06	160,00	0,04							
			Lattung	2,94	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
Konterlattung	0,38	484,51	-										
Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-										
								94,2	538,8	485,7	66,4	125,4	156,0
EW cwf _11	2010- 2015	x	Innenputz	2,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EWcwf_15; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung mit Aufdopplung der Dämmebene mit Mineralwolle; Fassade wird weiterverwendet, - da technische Nutzungsdauer noch nicht erreicht ist	94,2	538,8	485,7	66,4	125,4	156,0
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	30,00	380,00	2,50							
			Holzfaserdämm- platte (VF)	12,66	160,00	0,04							
			Lattung	1,34	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Mineralwolle (VF)	6,10	160,00	0,04							
			Lattung	0,90	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
			Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-							
								158,1	1375,2	2198,4	103,5	532,6	1507,5
EW cwf _12	2010- 2015	x	Innenputz	2,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EWcwf_15; - maximale Umwelt- wirkungen Sanierung inkl. Komplettaus- tausch hinter-/belüfteter Fassade aus Faserzement- platten und Holzfaserdämm- platten	158,1	1375,2	2198,4	103,5	532,6	1507,5
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	30,00	380,00	2,50							
			Holzfaserdämm- platte (VF)	12,66	160,00	0,04							
			Lattung	1,34	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
			Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-							
			Holzfaserdämm- platte (VF)	20,06	160,00	0,04							
			Lattung	2,94	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
Konterlattung	0,38	484,51	-										
Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-										

EW cwf _13	2016- 2020		Innenputz	2,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EWcwf_16; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung mit Aufdopplung der Dämmebene mit Mineralwolle; Fassade wird weiterverwendet, da technische Nutzungsdauer noch nicht erreicht ist	97,3	530,2	465,5	68,8	104,6	117,5					
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	30,00	380,00	2,50												
			Holzfaserdämm- platte (VF)	13,56	160,00	0,04												
			Lattung	1,44	484,51	0,13												
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-												
			x Mineralwolle (VF)	5,23	160,00	0,04												
			Lattung	0,77	484,51	0,13												
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-												
			Konterlattung	0,38	484,51	-												
			Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-												
								140,8	1121,4	1421,7	103,8	557,0	945,0					
EW cwf _14	2016- 2020		Innenputz	2,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EWcwf_16; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung inkl. Komplettaus- tausch hinter-/belüfteter Fassade aus Faserzement- platten und Holzfaserdämm- platten	140,8	1121,4	1421,7	103,8	557,0	945,0					
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	30,00	380,00	2,50												
			Holzfaserdämm- platte (VF)	13,56	160,00	0,04												
			Lattung	1,44	484,51	0,13												
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-												
			Konterlattung	0,38	484,51	-												
			x Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-												
			Holzfaserdämm- platte (VF)	6,98	160,00	0,04												
			Lattung	1,02	484,51	0,13												
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-												
Konterlattung	0,38	484,51	-															
Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-															
								78,2	459,4	182,1	62,2	243,1	240,3					
EW wood _1	bis 1918	x	Lehmputz innen	1,50	900,00	0,93	Grundlage Altbau- baukonstruktion EWwood_1; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung mit WDVS (Mineral- faserplatte)	78,2	459,4	182,1	62,2	243,1	240,3					
			Holzständer (Eiche)/Gefach: Lehmstaken	14,00	2000,00/ 100,00	0,21/ 0,47												
			Mineralwolle (Außenwand)	15,50	46,25	0,04												
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00												
						106,9								945,3	1519,4	59,0	231,1	1208,8
			EW wood _2	bis 1918	x	Lehmputz innen								1,50	900,00	0,93	Grundlage Altbau- konstruktion EWwood_1; maximale Umwelt- wirkungen Sanierung mit hinter-/belüfteter Fassade aus Faserzement- platten und Holzfaserdämm- platten	106,9
Holzständer (Eiche)/Gefach: Lehmstaken	14,00	2000,00/ 100,00				0,21/ 0,47												
Holzfaserdämm- platte (VF)	20,93	46,25				0,04												
Lattung	3,07	484,51				0,13												
Winddichtheitsbahn	0,02	262,00				-												
Konterlattung	0,38	484,51				-												
Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-															
								60,7	482,9	389,8	51,3	355,5	402,0					
EW wood _3	bis 1918	x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion EWwood_16; minimale Umwelt- wirkungen Sanierung mit WDVS (Mineral- faserplatte)	60,7	482,9	389,8	51,3	355,5	402,0					
			Holzständer/ Vollziegel/Mörtel	12,00	2000,00/ 100,00	0,13/ 0,79												
			Ziegel/Mörtel	13,00	1800,00/ 2000,00	0,79												
			Außenputz, nach Sanierung innenliegend	2,00	1800,00	1,00												
			Mineralwolle (Außenwand)	15,00	46,25	0,04												
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00												

A.4 Bilanzierte Sanierungskonstruktionen

EW wood _4	bis 1918	x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Grundlage Altbaukonstruktion EWwood_16; maximale Umweltwirkungen Sanierung mit hinter-/belüfteter Fassade aus Faserzementplatten und Holzfaserdämmplatten	85,8	926,9	1583,4	48,5	360,9	1273,0
			Holzständer/Vollziegel/Mörtel	12,00	492,92/2000,00/100,00	0,13/0,79							
			Ziegel/Mörtel	13,00	1800,00/2000,00	0,79							
			Außenputz, nach Sanierung innenliegend	2,00	1800,00	1,00							
			Holzfaserdämmplatte (VF)	18,31	160,00	0,04							
			Lattung	2,69	484,51	0,13							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
			Vorhangfassade (Faserzementplatten)	1,00	1300,00	-							
EW wood _5	1979-1990	x x	Hartfaserplatte	1,00	849,90	k.A.	Grundlage Altbaukonstruktion EWwood_17; minimale Umweltwirkungen durch Ersatz der Außenwand durch eine Holztafelbauwand in Verbindung mit einem WDVS (Mineralfaserplatte); Sanierung des Bestandsaufbaus konstruktiv nicht praktikabel; Annahme Ständerabmessungen bxh = 80x170 mm, Achsabstand: 62,5 cm	52,5	534,9	957,2	26,3	65,9	789,4
			Bitumenbahn	0,30	1000,00	-							
			Mineralwolle (Außenwand)	5,20	85,00	0,04							
			Asbestzementplatte	0,60	1300,00	k.A.							
			GKF-Platte	1,25	800,00	0,25							
			OSB-Platte	1,50	650,00	0,13							
			Zellulosefaser-Einblasdämmung	14,82	45,00	0,04							
			Konstruktionsvollholz	2,18	492,92	0,13							
			MDF-Platte	1,50	700,00	0,14							
			Mineralwolle (Außenwand)	4,00	46,25	0,04							
WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00										
EW wood _6	1979-1990	x x	Hartfaserplatte	1,00	849,90	k.A.	Grundlage Altbaukonstruktion EWwood_17; maximale Umweltwirkungen durch Ersatz der Außenwand durch eine Holztafelbauwand in Verbindung mit einer hinter-/belüfteten Fassade (Faserzementplatten); Sanierung des Bestandsaufbaus konstruktiv nicht praktikabel; Annahme Ständerabmessungen bxh = 80x160 mm, Achsabstand: 62,5 cm	101,3	1225,4	2084,9	64,4	573,1	1729,6
			Bitumenbahn	0,30	1000,00	-							
			Mineralwolle (Außenwand)	5,20	85,00	0,04							
			Asbestzementplatte	0,60	1300,00	k.A.							
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	5,42	160,00	0,04							
			Lattung	0,58	484,51	0,13							
			OSB-Platte	1,50	650,00	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	13,95	160,00	0,04							
			Konstruktionsvollholz	2,05	492,92	0,13							
Gipsfaserplatte	1,25	1000,00	0,35										
Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-										
Konterlattung	0,38	484,51	-										
Vorhangfassade (Faserzementplatten)	1,00	1300,00	-										
EW wood _7	2002-2009	x	GKF-Platte	1,25	800,00	0,25	Grundlage Altbaukonstruktion EWwood_18; minimale Umweltwirkungen Sanierung mit WDVS (Mineralfaserplatte)	91,3	282,7	-166,8	63,8	-85,1	-153,8
			PE-Folie Wand	0,02	930,00	-							
			Zellulosefaser-Einblasdämmung	13,08	45,00	0,04							
			Konstruktionsvollholz	1,92	492,92	0,13							
			Gipsfaserplatte	1,25	1000,00	0,35							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
			Vorhangfassade (Annahme: Laubholz, natur)	2,40	761,60	-							
			Mineralwolle (Außenwand)	5,50	46,25	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							

EW wood _8	2002-2009	x	GKF-Platte	1,25	800,00	0,25	Grundlage Altbau- konstruktion EWwood_18; maximale Umwelt- wirkungen in Verbindung mit einer hinter-/belüfteten Fassade (Faserzement- platten); Annahme Ständerabmes- sungen bxh = 80x160 mm, Achsabstand: 62,5 cm	113,2	689,8	604,1	72,8	121,0	478,9										
			PE-Folie Wand	0,02	930,00	-																	
			Zellulosefaser- Einblasdämmung	13,08	45,00	0,04																	
			Konstruktionsvollholz	1,92	492,92	0,13																	
			Gipsfaserplatte	1,25	1000,00	0,35																	
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-																	
			Konterlattung	0,38	484,51	-																	
			Vorhangfassade (Annahme: Laubholz, natur)	2,40	761,60	-																	
			Holzfaserdämm- platte (VF)	7,85	160,00	0,04																	
			Lattung	1,15	484,51	0,13																	
Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-																				
Konterlattung	0,38	484,51	-																				
Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-																				
								83,5	55,8	-316,5	34,8	-597,2	-275,3										
EW wood _9	2010-2020	x x	GKF-Platte	1,25	800,00	0,25	Grundlage Alt- baukonstruktion EWwood_19; minimale Umwel- twirkungen; keine Sanierung der Bestandskon- struktion erfor- derlich, da ihr U-Wert die Zielanforderun- gen der Sanierung bereits erfüllt	251,1	556,4	-1397,2	156,7	-873,5	-1210,5										
			PE-Folie Wand	0,02	930,00	-																	
			Zellulosefaser- Einblasdämmung	20,93	45,00	0,04																	
			Konstruktionsvollholz	3,07	492,92	0,13																	
			Gipsfaserplatte	1,25	1000,00	0,35																	
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-																	
			Konterlattung	0,38	484,51	-																	
			Vorhangfassade (Annahme: Laubholz, natur)	2,40	761,60	-																	
								304,3	1263,2	-115,5	193,5	-429,0	-148,3										
EW wood _10	2002-2009	x	Gipsfaserplatte	2,50	100,00	0,35	Grundlage Alt- baukonstruktion EWwood_24; minimale Umwelt- wirkungen in Verbindung mit einer hinter-/ belüfteten Fas- sade; auf Grund des jungen Bau- alters kann eine Weiterverwen- dung der vorhan- denen Faserzement- platten angenommen werden	304,3	1263,2	-115,5	193,5	-429,0	-148,3										
			Brettsperrholz	24,00	489,41	0,13																	
			Lattung	0,48	484,51	0,13																	
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	4,52	160,00	0,04																	
			Gipsfaserplatte	1,25	1000,00	0,35																	
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-																	
			Konterlattung	0,38	484,51	-																	
			Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-																	
														304,3	1263,2	-115,5	193,5	-429,0	-148,3				
			EW wood _11	2002-2009	x	Gipsfaserplatte								2,50	100,00	0,35	Grundlage Altbau- konstruktion EWwood_24; maximale Umwelt- wirkungen in Verbindung mit einer hinter-/ belüfteten Fassade (Faserzement- platten)	304,3	1263,2	-115,5	193,5	-429,0	-148,3
Brettsperrholz	24,00	489,41				0,13																	
Lattung	0,48	484,51				0,13																	
Holzfaserdämmung (Innenausbau)	4,52	160,00				0,04																	
Gipsfaserplatte	1,25	1000,00				0,35																	
Winddichtheitsbahn	0,02	262,00				-																	
Konterlattung	0,38	484,51				-																	
Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00				-																	
Lattung	1,79	484,51				0,13																	
Holzfaserdämmung (Innenausbau)	12,21	160,00				0,04																	
Gipsfaserplatte	1,25	1000,00	0,35																				
Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-																				
Konterlattung	0,38	484,51	-																				
Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-																				

A.4 Bilanzierte Sanierungskonstruktionen

EW wood _12	2010- 2020	x x	Gipsfaserplatte	2,50	100,00	0,35	Grundlage Altbau- konstruktion EWwood_25; minimale Umwelt- wirkungen; keine Sanierung der Bestandskon- struktion erforderlich, da ihr U-Wert die Zielanforderun- gen der Sanierung bereits erfüllt	273,5	444,3	-1616,5	172,5	-1099,4	-1568,7
			Lattung	0,38	484,51	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	3,62	160,00	0,04							
			Brettsperrholz	24,00	489,41	0,13							
			Lattung	0,86	484,51	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	8,14	160,00	0,04							
			Gipsfaserplatte	1,25	1000,00	0,35							
			Winddichtheitsbahn	0,02	262,00	-							
			Konterlattung	0,38	484,51	-							
			Vorhangfassade (Faserzement- platten)	1,00	1300,00	-							
CW _h _1	bis 1945	x x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion CW_1; minimale Umwelt- wirkungen mit PE-HD-Flächen- abdichtung nach DIN 18533, Teil 1 und 2 (W 1.1-E)	92,2	1297,6	1397,5	69,1	960,1	971,1
			Vollziegel/ Mörtel	51,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
			Grundierung (Bitumenvoran- strich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			PE-HD- Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	11,00	32,00	0,04							
Noppenbahn	0,13	960,00	-										
CW _h _2	bis 1945	x x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion CW_1; maximale Umwelt- wirkungen mit Bitumenbahn nach DIN 18533, Teil 1 und 2 (W 2.1-E)	91,9	2550,7	2673,4	74,2	2292,2	2348,5
			Vollziegel/ Mörtel	51,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
			Grundierung (Bitumenvoran- strich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			Bitumenbahn	2,00	1100,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	11,00	32,00	0,04							
Noppenbahn	0,13	960,00	-										
CW _h _3	1870- 1918	x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion CW_3; minimale Umwelt- wirkungen mit PE- HD- Flächenabdich- tung nach DIN 18533, Teil 1 und 2 (W 1.1-E)	92,2	1314,7	1416,6	68,5	967,2	979,3
			Vollziegel/Mörtel	64,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
			Grundierung (Bitumenvoran- strich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			PE-HD- Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	11,00	32,00	0,04							
Noppenbahn	0,13	960,00	-										
CW _h _4	1870- 1918	x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion CW_3; maximale Umwelt- wirkungen mit Bitumenbahn nach DIN 18533, Teil 1 und 2 (W 2.1-E)	91,9	2567,8	2692,5	73,5	2299,3	2356,7
			Vollziegel/Mörtel	64,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
			Grundierung (Bitumenvoran- strich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			Bitumenbahn	2,00	1100,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	11,00	32,00	0,04							
Noppenbahn	0,13	960,00	-										
CW _h _5	1870- 1918	x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion CW_4; minimale Umwelt- wirkungen mit PE- HD- Flächenabdich- tung nach DIN 18533, Teil 1 und 2 (W 1.1-E)	92,6	1318,8	1397,7	68,9	972,3	955,8
			Vollziegel/Mörtel	25,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Grundierung (Bitumenvoran- strich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			PE-HD- Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	13,00	32,00	0,04							
			Noppenbahn	0,13	960,00	-							

CW _h _6	1870- 1918	x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion CW_4; maximale Umwelt- wirkungen mit Bitumenbahn nach DIN 18533, Teil 1 und 2 (W 2.1-E)	92,2	2571,9	2673,5	73,9	2304,3	2333,2
			Vollziegel/Mörtel	25,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Grundierung (Bitumenvoran- strich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			Bitumenbahn	2,00	1100,00	-							
			Polystyroldämmung, XPS (KW)	13,00	32,00	0,04							
			Noppenbahn	0,13	960,00	-							
CW _h _7	1919- 1945	x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion CW_5; minimale Umweltwirkungen mit PE-HD- Flächenabdich- tung nach DIN 18533, Teil 1 und 2 (W 1.1-E)	92,6	1301,7	1378,6	69,6	965,2	947,7
			Vollziegel/Mörtel	12,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Grundierung (Bitumenvoran- strich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			PE-HD- Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-							
			Polystyroldämmung, XPS (KW)	13,00	32,00	0,04							
			Noppenbahn	0,13	960,00	-							
CW _h _8	1919- 1945	x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion CW_5; maximale Umwelt- wirkungen mit Bitumenbahn nach DIN 18533, Teil 1 und 2 (W 2.1-E)	92,2	2554,8	2654,4	74,6	2297,3	2325,1
			Vollziegel/Mörtel	12,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Grundierung (Bitumenvoran- strich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			Bitumenbahn	2,00	1100,00	-							
			Polystyroldämmung, XPS (KW)	13,00	32,00	0,04							
			Noppenbahn	0,13	960,00	-							
CW _h _9	1949- 1978	x x x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion CW_7; minimale Umweltwirkungen mit PE-HD- Flächenabdich- tung nach DIN 18533, Teil 1 und 2 (W 1.1-E)	92,6	1317,5	1396,2	68,9	971,8	955,2
			Vollziegel/Mörtel	24,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Grundierung (Bitumenvoran- strich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			PE-HD- Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-							
			Polystyroldämmung, XPS (KW)	13,00	32,00	0,04							
			Noppenbahn	0,13	960,00	-							
CW _h _10	1949- 1978	x x x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion CW_7; maximale Umwelt- wirkungen mit Bitumenbahn nach DIN 18533, Teil 1 und 2 (W 2.1-E)	92,2	2570,5	2672,0	74,0	2303,8	2332,6
			Vollziegel/Mörtel	24,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Grundierung (Bitumenvoran- strich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			Bitumenbahn	2,00	1100,00	-							
			Polystyroldämmung, XPS (KW)	13,00	32,00	0,04							
			Noppenbahn	0,13	960,00	-							
CW _h _11	1949- 1978	x x x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion CW_8; minimale Umweltwirkungen mit PE-HD- Flächenabdich- tung nach DIN 18533, Teil 1 und 2 (W 1.1-E)	102,1	1361,8	1465,5	75,1	974,6	964,6
			Stahlbeton B15-B25 (95/5)	22,60	2400,00	2,50							
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
			Grundierung (Bitumenvoran- strich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			PE-HD- Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-							
			Polystyroldämmung, XPS (KW)	13,00	32,00	0,04							
Noppenbahn	0,13	960,00	-										
CW _h _12	1949- 1978	x x x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion CW_8; maximale Umwelt- wirkungen mit Bitumenbahn nach DIN 18533, Teil 1 und 2 (W 2.1-E)	101,7	2614,8	2741,3	80,2	2306,6	2342,0
			Stahlbeton B15-B25 (95/5)	22,60	2400,00	2,50							
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
			Grundierung (Bitumenvoran- strich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			Bitumenbahn	2,00	1100,00	-							
			Polystyroldämmung, XPS (KW)	13,00	32,00	0,04							
Noppenbahn	0,13	960,00	-										

A.4 Bilanzierte Sanierungskonstruktionen

CW _h _13	1949- 1994	x x x x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3)	17,30	2400,00	2,50	Grundlage Altbaukonstruktion CW_9; minimale Umweltwirkungen mit PE-HD-Flächenabdichtung nach DIN 18533, Teil 1 und 2 (W 1.1-E)	93,4	1296,2	1374,3	67,4	922,1	890,9
			Grundierung (Bitumenvorstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			PE-HD-Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	13,00	32,00	0,04							
			Noppenbahn	0,13	960,00	-							
CW _h _14	1949- 1994	x x x x x	Stahlbeton B15-B25 (97/3)	17,30	2400,00	2,50	Grundlage Altbaukonstruktion CW_9; maximale Umweltwirkungen mit Bitumenbahn nach DIN 18533, Teil 1 und 2 (W 2.1-E)	93,0	2549,2	2650,1	72,5	2254,1	2268,3
			Grundierung (Bitumenvorstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			Bitumenbahn	2,00	1100,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	13,00	32,00	0,04							
			Noppenbahn	0,13	960,00	-							
CW _h _15	1991- 2000	x x	Noppenbahn	0,13	960,00	-	Grundlage Altbaukonstruktion CW_11; minimale Umweltwirkungen mit PE-HD-Flächenabdichtung nach DIN 18533, Teil 1 und 2 (W 1.1-E)	122,5	1540,2	1656,7	88,0	1044,8	1015,5
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	13,00	32,00	0,04							
			PE-HD-Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-							
			Grundierung (Bitumenvorstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	6,00	32,00	0,04							
			Stahlbeton B15-B25 (97/3)	30,00	2400,00	2,50							
Innenputz	1,50	900,00	0,70										
CW _h _16	1991- 2000	x x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Grundlage Altbaukonstruktion CW_11; maximale Umweltwirkungen mit Bitumenbahn nach DIN 18533, Teil 1 und 2 (W 2.1-E)	122,1	2793,3	2932,5	93,0	2376,9	2392,9
			Stahlbeton B15-B25 (97/3)	30,00	2400,00	2,50							
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	6,00	32,00	0,04							
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
			Grundierung (Bitumenvorstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			Bitumenbahn	2,00	1100,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	13,00	32,00	0,04							
Noppenbahn	0,13	960,00	-										
CW _h _17	1961- 1990	x x x x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Grundlage Altbaukonstruktion CW_14; minimale Umweltwirkungen mit PE-HD-Flächenabdichtung nach DIN 18533, Teil 1 und 2 (W 1.1-E)	91,5	1227,8	1322,9	71,8	940,3	953,2
			Hohlblockstein (75/25)	36,50	800,00/2000,00	0,41							
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
			Grundierung (Bitumenvorstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			PE-HD-Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	10,00	32,00	0,04							
			Noppenbahn	0,13	960,00	-							
CW _h _18	1961- 1990	x x x x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Grundlage Altbaukonstruktion CW_14; maximale Umweltwirkungen mit Bitumenbahn nach DIN 18533, Teil 1 und 2 (W 2.1-E)	95,4	2538,0	2659,5	80,2	2314,9	2372,7
			Hohlblockstein (75/25)	36,50	800,00/2000,00	0,41							
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
			Grundierung (Bitumenvorstrich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			Bitumenbahn	2,00	1100,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	11,00	32,00	0,04							
			Noppenbahn	0,13	960,00	-							

CW _h _19	1961- 2000	x x x x x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion CW_17; minimale Umwelt- wirkungen mit PE-HD- Flächenabdich- tung nach DIN 18533, Teil 1 und 2 (W 1.1-E)	95,7	1285,2	1385,4	70,6	925,2	919,8
			Schalsteine mit Betonfüllung B15	36,50	2400,00/ 2000,00	2,10							
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
			Grundierung (Bitumenvoran- strich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			PE-HD- Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	11,00	32,00	0,04							
Noppenbahn	0,13	960,00	-										
CW _h _20	1961- 2000	x x x x x	Innenputz	1,50	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion CW_17; maximale Umwelt- wirkungen mit Bitumenbahn nach DIN 18533, Teil 1 und 2 (W 2.1-E)	95,4	2538,3	2661,2	75,7	2257,2	2297,2
			Schalsteine mit Betonfüllung B15	36,50	2400,00/ 2000,00	2,10							
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
			Grundierung (Bitumenvoran- strich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			Bitumenbahn	2,00	1100,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	11,00	32,00	0,04							
Noppenbahn	0,13	960,00	-										
CW _h _21	2002- 2009	x	Innenputz	2,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion CW_24; minimale Umwelt- wirkungen; auf Grund des jungen Baualters kann eine Weiterverwen- dung der PE-HD- Flächenabdich- tung angenommen werden	101,6	1123,3	1212,0	76,2	751,6	734,0
			Kalksandstein (95/5)	36,50	1800,00	0,99							
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
			Grundierung (Bitumenvoran- strich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			PE-HD- Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	6,00	32,00	0,04							
Noppenbahn	0,13	960,00	-										
CW _h _22	2002- 2009	x	Innenputz	2,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion CW_24; maximale Umwelt- wirkungen mit Bitumenbahn nach DIN 18533, Teil 1 und 2 (W 2.1-E)	131,9	2750,0	2903,6	106,2	2374,3	2420,5
			Kalksandstein (95/5)	36,50	1800,00	0,99							
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
			Grundierung (Bitumenvoran- strich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			PE-HD- Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	6,00	32,00	0,04							
Noppenbahn	0,13	960,00	-										
CW _h _23	2010- 2015	x	Innenputz	2,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion CW_25; minimale Umwelt- wirkungen; auf Grund des jungen Baualters kann eine Weiterverwen- dung der PE-HD- Flächenabdich- tung angenommen werden	99,7	1066,5	1151,6	74,3	694,9	673,7
			Kalksandstein (95/5)	36,50	1800,00	0,99							
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
			Grundierung (Bitumenvoran- strich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			PE-HD- Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	8,00	32,00	0,04							
Noppenbahn	0,13	960,00	-										
CW _h _23	2010- 2015	x	Innenputz	2,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion CW_25; minimale Umwelt- wirkungen; auf Grund des jungen Baualters kann eine Weiterverwen- dung der PE-HD- Flächenabdich- tung angenommen werden	99,7	1066,5	1151,6	74,3	694,9	673,7
			Kalksandstein (95/5)	36,50	1800,00	0,99							
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
			Grundierung (Bitumenvoran- strich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			PE-HD- Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	8,00	32,00	0,04							
Noppenbahn	0,13	960,00	-										

A.4 Bilanzierte Sanierungskonstruktionen

CW _h _24	2010- 2015	x	Innenputz	2,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion CW_25; maximale Umwelt- wirkungen mit Bitumenbahn nach DIN 18533, Teil 1 und 2 (W 2.1-E)	134,2	2750,4	2904,0	107,6	2360,2	2402,3
			Kalksandstein (95/5)	36,50	1800,00	0,99							
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
			Grundierung (Bitumenvoran- strich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			PE-HD- Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	8,00	32,00	0,04							
			Noppenbahn	0,13	960,00	-							
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
			Grundierung (Bitumenvoran- strich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			Bitumenbahn	2,00	1100,00	-							
Polystyrolämmung, XPS (KW)	14,00	32,00	0,04										
Noppenbahn	0,13	960,00	-										
CW _h _25	2016- 2020	x	Innenputz	2,00	900,00	0,70	Grundlage Altbau- konstruktion CW_26; minimale Umwelt- wirkungen; auf Grund des jungen Baualters kann eine Weiterverwen- dung der PE-HD- Flächenabdich- tung angenommen werden	98,3	1024,0	1106,4	72,9	652,3	628,4
			Kalksandstein (95/5)	36,50	1800,00	0,99							
			Außenputz	2,00	1800,00	1,00							
			Grundierung (Bitumenvoran- strich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			PE-HD- Flächenabdichtung	0,15	1067,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	9,50	32,00	0,04							
			Noppenbahn	0,13	960,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	4,50	32,00	0,04							
			Noppenbahn	0,13	960,00	-							
			CW _h _26	2016- 2020	x	Innenputz							
Kalksandstein (95/5)	36,50	1800,00				0,99							
Außenputz	2,00	1800,00				1,00							
Grundierung (Bitumenvoran- strich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00				-							
PE-HD- Flächenabdichtung	0,15	1067,00				-							
Polystyrolämmung, XPS (KW)	9,50	32,00				0,04							
Noppenbahn	0,13	960,00				-							
Außenputz	2,00	1800,00				1,00							
Grundierung (Bitumenvoran- strich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00				-							
Bitumenbahn	2,00	1100,00				-							
Polystyrolämmung, XPS (KW)	14,00	32,00	0,04										
Noppenbahn	0,13	960,00	-										
CW _h _27	2002- 2020	x x x	Stahlbeton C20/25 (99/1)	20,00	380,00	2,30	Grundlage Altbau- konstruktion CW_41; minimale Umwelt- wirkungen	86,3	1121,6	1192,5	61,1	759,2	723,6
			Grundierung (Bitumenvoran- strich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			Noppenbahn	0,13	960,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	15,00	32,00	0,04							
			Noppenbahn	0,13	960,00	-							
CW _h _28	2002- 2020	x x x	Stahlbeton C20/25 (99/1)	20,00	380,00	2,30	Grundlage Altbau- konstruktion CW_41; maximale Umwelt- wirkungen	86,5	1131,9	1203,4	61,2	769,5	734,5
			Grundierung (Bitumenvoran- strich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			Noppenbahn	0,13	960,00	-							
			Grundierung (Bitumenvoran- strich, lösemittelhaltig)	0,02	950,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (KW)	15,00	32,00	0,04							
Noppenbahn	0,13	960,00	-										

SCW _h _1	bis 1945	x x	GKF-Platte	1,25	800,00	0,25	Grundlage Alt- baukonstruktion SCW_1; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- innendämmung	10,6	203,4	284,9	1,5	37,9	273,2
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	5,42	26,25	0,04							
			Lattung	0,58	484,51	0,13							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
Vollziegel/Mörtel	25,50	1800,00/ 2000,00	0,79										
SCW _h _2	bis 1945	x x	Gipsfaserplatte	2,50	800,00	0,35	Grundlage Alt- baukonstruktion SCW_1; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaserinnen- dämmung	20,7	312,1	644,8	9,9	140,1	488,0
			PE-Folie Wand	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	7,23	160,00	0,04							
			Lattung	0,77	484,51	0,13							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
Vollziegel/Mörtel	25,50	1800,00/ 2000,00	0,79										
SCW _h _3	1870- 1918	x	GKF-Platte	1,25	800,00	0,25	Grundlage Alt- baukonstruktion SCW_3; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- innendämmung	10,6	211,9	294,5	1,2	41,4	277,3
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	5,42	26,25	0,04							
			Lattung	0,58	484,51	0,13							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
Vollziegel/Mörtel	32,00	1800,00/ 2000,00	0,79										
SCW _h _4	1870- 1918	x	Gipsfaserplatte	2,50	800,00	0,35	Grundlage Alt- baukonstruktion SCW_3; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaserinnen- dämmung	19,3	303,4	602,2	9,3	145,1	456,4
			PE-Folie Wand	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	6,33	160,00	0,04							
			Lattung	0,67	484,51	0,13							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
Vollziegel/Mörtel	32,00	1800,00/ 2000,00	0,79										
SCW _h _5	1870- 1918	x	GKF-Platte	1,25	800,00	0,25	Grundlage Alt- baukonstruktion SCW_4; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- innendämmung	11,0	191,7	273,8	2,3	31,4	274,4
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	6,33	26,25	0,04							
			Lattung	0,67	484,51	0,13							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
Vollziegel/Mörtel	12,50	1800,00/ 2000,00	0,79										
SCW _h _6	1870- 1918	x	Gipsfaserplatte	2,50	800,00	0,35	Grundlage Alt- baukonstruktion SCW_4; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaserinnen- dämmung	20,7	295,0	625,7	10,6	133,0	479,8
			PE-Folie Wand	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	7,23	160,00	0,04							
			Lattung	0,77	484,51	0,13							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
Vollziegel/Mörtel	12,50	1800,00/ 2000,00	0,79										
SCW _h _7	1919- 1945	x	GKF-Platte	1,25	800,00	0,25	Grundlage Alt- baukonstruktion SCW_5; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- innendämmung	11,0	183,1	264,2	2,6	27,8	270,4
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	6,33	26,25	0,04							
			Lattung	0,67	484,51	0,13							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
Vollziegel/Mörtel	6,00	1800,00/ 2000,00	0,79										
SCW _h _8	1919- 1945	x	Gipsfaserplatte	2,50	800,00	0,35	Grundlage Alt- baukonstruktion SCW_5; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaserinnen- dämmung	22,2	303,7	668,3	11,2	128,1	511,4
			PE-Folie Wand	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	8,14	160,00	0,04							
			Lattung	0,86	484,51	0,13							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
Vollziegel/Mörtel	6,00	1800,00/ 2000,00	0,79										
SCW _h _9	1949- 1978	x x x	GKF-Platte	1,25	800,00	0,25	Grundlage Alt- baukonstruktion SCW_7; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- innendämmung	11,0	191,0	273,0	2,3	31,1	274,1
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	6,33	26,25	0,04							
			Lattung	0,67	484,51	0,13							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
Vollziegel/Mörtel	12,00	1800,00/ 2000,00	0,79										
SCW _h _10	1949- 1978	x x x	Gipsfaserplatte	2,50	800,00	0,35	Grundlage Alt- baukonstruktion SCW_7; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaserinnen- dämmung	20,7	294,3	625,0	10,6	132,8	479,5
			PE-Folie Wand	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	7,23	160,00	0,04							
			Lattung	0,77	484,51	0,13							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
Vollziegel/Mörtel	12,00	1800,00/ 2000,00	0,79										

A.4 Bilanzierte Sanierungskonstruktionen

SCW_h_11	1949-1978	x x x	GKF-Platte	1,25	800,00	0,25	Grundlage Altbaukonstruktion SCW_8; minimale Umweltwirkungen mit Mineralwolleinnendämmung	11,6	183,7	266,1	1,3	3,1	237,2
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	6,33	26,25	0,04							
			Lattung	0,67	484,51	0,13							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
Stahlbeton B15-B25 (95/5)	11,30	2400,00	2,50										
SCW_h_12	1949-1978	x x x	Gipsfaserplatte	2,50	800,00	0,35	Grundlage Altbaukonstruktion SCW_8; maximale Umweltwirkungen mit Holzfaserrinnendämmung	22,8	304,3	670,2	9,9	103,3	478,3
			PE-Folie Wand	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	8,14	160,00	0,04							
			Lattung	0,86	484,51	0,13							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
Stahlbeton B15-B25 (95/5)	11,30	2400,00	2,50										
SCW_h_13	1979-1990	x x	GKF-Platte	1,25	800,00	0,25	Grundlage Altbaukonstruktion SCW_10; minimale Umweltwirkungen mit Mineralwolleinnendämmung	11,4	180,8	262,9	1,1	-0,2	233,5
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	6,33	26,25	0,04							
			Lattung	0,67	484,51	0,13							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
Stahlbeton B15-B25 (97/3)	11,20	2400,00	2,50										
SCW_h_14	1979-1990	x x	Gipsfaserplatte	2,50	800,00	0,35	Grundlage Altbaukonstruktion SCW_10; maximale Umweltwirkungen mit Holzfaserrinnendämmung	22,6	301,4	666,9	9,6	100,1	474,6
			PE-Folie Wand	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	8,14	160,00	0,04							
			Lattung	0,86	484,51	0,13							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
Stahlbeton B15-B25 (97/3)	11,20	2400,00	2,50										
SCW_h_15	1991-2000	x x	GKF-Platte	1,25	800,00	0,25	Grundlage Altbaukonstruktion SCW_11; minimale Umweltwirkungen mit Mineralwolleinnendämmung	11,9	186,7	269,9	0,7	-4,6	226,8
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	6,33	26,25	0,04							
			Lattung	0,67	484,51	0,13							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
Stahlbeton B15-B25 (97/3)	15,00	2400,00	2,50										
SCW_h_16	1991-2000	x x	Gipsfaserplatte	2,50	800,00	0,35	Grundlage Altbaukonstruktion SCW_11; maximale Umweltwirkungen mit Holzfaserrinnendämmung	23,0	307,3	673,9	9,3	95,7	467,8
			PE-Folie Wand	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	8,14	160,00	0,04							
			Lattung	0,86	484,51	0,13							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
Stahlbeton B15-B25 (97/3)	15,00	2400,00	2,50										
SCW_h_17	1961-1990	x x x x	Beton B5-B20	20,00	2400,00	2,00	Grundlage Altbaukonstruktion SCW_12; minimale Umweltwirkungen mit Mineralwolleinnendämmung	12,2	191,0	275,3	-0,1	-15,5	211,9
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
			Lattung	0,67	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	6,33	26,25	0,04							
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
GKF-Platte	1,25	800,00	0,25										
SCW_h_18	1961-1990	x x x x	Gipsfaserplatte	2,50	800,00	0,35	Grundlage Altbaukonstruktion SCW_12; maximale Umweltwirkungen mit Holzfaserrinnendämmung	23,4	311,6	679,4	8,4	84,7	452,9
			PE-Folie Wand	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	8,14	160,00	0,04							
			Lattung	0,86	484,51	0,13							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
Beton B5-B20	20,00	2400,00	2,00										
SCW_h_19	1991-2000	x x	GKF-Platte	1,25	800,00	0,25	Grundlage Altbaukonstruktion SCW_15; minimale Umweltwirkungen mit Mineralwolleinnendämmung	10,1	188,5	266,3	1,8	33,3	259,3
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
			Mineralwolle	4,52	26,25	0,04							
			Lattung	0,48	484,51	0,13							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
Hochlochziegel (75/25)	18,25	575,00/2000,00	0,35										
SCW_h_20	1991-2000	x x	Gipsfaserplatte	2,50	800	0,35	Grundlage Altbaukonstruktion SCW_15; maximale Umweltwirkungen mit Holzfaserrinnendämmung	19,3	285,3	582,0	10,0	137,6	447,8
			PE-Folie Wand	0,02	930	-							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	6,33	160	0,04							
			Lattung	0,67	484,51	0,13							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
Hochlochziegel (75/25)	18,25	575,00/2000,00	0,35										

SCW_h_21	1961-1990	x x x x	GKF-Platte	1,25	800,00	0,25	Grundlage Altbaukonstruktion SCW_16; minimale Umweltwirkungen mit Mineralwolleinnendämmung	12,2	191,0	275,3	-0,1	-15,5	211,9
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	6,33	26,25	0,04							
			Lattung	0,67	484,51	0,13							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
Stampfbeton B5-B20	20,00	2400,00	2,00										
SCW_h_22	1961-1990	x x x x	Gipsfaserplatte	2,50	800	0,35	Grundlage Altbaukonstruktion SCW_16; maximale Umweltwirkungen mit Holzfaserrinnendämmung	23,4	311,6	679,4	8,4	84,7	452,9
			PE-Folie Wand	0,02	930	-							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	8,14	160	0,04							
			Lattung	0,86	484,51	0,13							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
Stampfbeton B5-B20	20,00	2400,00	2,00										
SCW_h_23	2002-2009	x	GKF-Platte	1,25	800,00	0,25	Grundlage Altbaukonstruktion SCW_37; minimale Umweltwirkungen mit Mineralwolleinnendämmung	21,5	269,4	353,7	5,3	7,6	195,0
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	3,62	26,25	0,04							
			Lattung	0,38	484,51	0,13							
			Innenputz	2,00	900,00	0,70							
Stahlbeton C30/37 (98/2)	30,00	380,00	2,50										
Polystyrolämmung, XPS (KW)	3,00	32,00	0,04										
SCW_h_24	2002-2009	x	Gipsfaserplatte	2,50	800,00	0,35	Grundlage Altbaukonstruktion SCW_37; maximale Umweltwirkungen mit Holzfaserrinnendämmung	28,2	337,1	573,1	13,0	115,4	321,6
			PE-Folie Wand	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	4,52	160,00	0,04							
			Lattung	0,48	484,51	0,13							
			Innenputz	2,00	900,00	0,70							
Stahlbeton C30/37 (98/2)	30,00	380,00	2,50										
Polystyrolämmung, XPS (KW)	3,00	32,00	0,04										
SCW_h_25	2010-2015	x	GKF-Platte	1,25	800,00	0,25	Grundlage Altbaukonstruktion SCW_38; minimale Umweltwirkungen mit Mineralwolleinnendämmung	24,4	292,8	376,3	7,5	21,3	197,6
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	2,71	26,25	0,04							
			Lattung	0,29	484,51	0,13							
			Innenputz	2,00	900,00	0,70							
Stahlbeton C30/37 (98/2)	30,00	380,00	2,50										
Polystyrolämmung, XPS (KW)	4,00	32,00	0,04										
SCW_h_26	2010-2015	x	Gipsfaserplatte	2,50	800,00	0,35	Grundlage Altbaukonstruktion SCW_38; maximale Umweltwirkungen mit Holzfaserrinnendämmung	28,7	331,3	499,4	14,7	132,5	262,2
			PE-Folie Wand	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	2,71	160,00	0,04							
			Lattung	0,29	484,51	0,13							
			Innenputz	2,00	900,00	0,70							
Stahlbeton C30/37 (98/2)	30,00	380,00	2,50										
Polystyrolämmung, XPS (KW)	4,00	32,00	0,04										
SCW_h_27	2016-2020	x	GKF-Platte	1,25	800,00	0,25	Grundlage Altbaukonstruktion SCW_39; minimale Umweltwirkungen mit Mineralwolleinnendämmung	26,5	308,9	391,3	9,2	31,3	197,2
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	1,81	26,25	0,04							
			Lattung	0,19	484,51	0,13							
			Innenputz	2,00	900,00	0,70							
Stahlbeton C30/37 (98/2)	30,00	380,00	2,50										
Polystyrolämmung, XPS (KW)	4,75	32,00	0,04										
SCW_h_28	2016-2020	x	Gipsfaserplatte	2,50	800,00	0,35	Grundlage Altbaukonstruktion SCW_39; maximale Umweltwirkungen mit Holzfaserrinnendämmung	29,7	335,6	470,3	16,2	144,6	235,5
			PE-Folie Wand	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	1,81	160,00	0,04							
			Lattung	0,19	484,51	0,13							
			Innenputz	2,00	900,00	0,70							
Stahlbeton C30/37 (98/2)	30,00	380,00	2,50										
Polystyrolämmung, XPS (KW)	4,75	32,00	0,04										
SCW_h_29	2002-2020	x x x	GKF-Platte	1,25	800,00	0,25	Grundlage Altbaukonstruktion SCW_42; minimale Umweltwirkungen mit Mineralwolleinnendämmung	11,4	183,3	264,0	3,3	32,6	275,2
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	6,33	26,25	0,04							
			Lattung	0,67	484,51	0,13							
			Kalksandstein (99,2/0,8)	11,50	1800,00	0,99							

A.4 Bilanzierte Sanierungskonstruktionen

SCW _h _30	2002- 2020	x x x	Gipsfaserplatte	2,50	800,00	0,35	Grundlage Alt- baukonstruktion SCW_42; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaserinnen- dämmung	21,1	286,6	616,0	11,6	134,3	480,6
			PE-Folie Wand	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	7,23	160,00	0,04							
			Lattung	0,77	484,51	0,13							
			Kalksandstein (99,2/0,8)	11,50	1800,00	0,99							
TFL mas _h _1	1949- 1957	x	Mineralwolle (Boden) schwimmender Estrich	27,00	85,00	0,04	Grundlage Alt- baukonstruktion TFLmas_1; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	47,5	526,3	609,5	41,5	454,0	514,5
Dämmung DE und OGD, ältere BK	2,50	30,00- 200,00	0,09										
Beton B5-B20	15,00	2400,00	1,51										
Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70										
TFL mas _h _2	1949- 1957	x	Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
Lattung	4,35	484,51	0,13										
Holzfaserdämmung (Innenausbau) schwimmender Estrich	29,65	160,00	0,04										
Dämmung DE und OGD, ältere BK	2,50	30,00- 200,00	0,09										
Beton B5-B20	15,00	2400,00	1,51										
Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70										
TFL mas _h _3	1958- 1968	x	Mineralwolle (Boden) schwimmender Estrich	27,00	85,00	0,04	Grundlage Alt- baukonstruktion TFLmas_2; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	52,3	526,4	609,7	44,5	435,9	491,2
Dämmung DE und OGD, ältere BK	4,00	30,00- 200,00	0,05										
Beton B5-B20	15,00	2400,00	1,51										
Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70										
TFL mas _h _4	1958- 1968	x	Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
Lattung	4,35	484,51	0,13										
Holzfaserdämmung (Innenausbau) schwimmender Estrich	29,65	160,00	0,04										
Dämmung DE und OGD, ältere BK	4,00	30,00- 200,00	0,05										
Beton B5-B20	15,00	2400,00	1,51										
Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70										
TFL mas _h _5	1969- 1994	x x x	Mineralwolle (Boden)	21,00	85,00	0,04	Grundlage Alt- baukonstruktion TFLmas_19; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	29,9	399,3	462,5	26,9	360,3	410,3
Mineralwolle (Boden)	6,00	30,00- 200,00	0,04										
Normalbeton	14,00	2400,00	1,51										
TFL mas _h _6	1969- 1994	x x x	Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	Grundlage Alt- baukonstruktion TFLmas_19; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung und begehbarem Trockenestrich; Holzabmessung bxh = 80x(2*170) mm, Achsabstand: 62,5 cm	57,3	720,8	1939,7	11,7	8,7	1364,9
Lattung	4,35	484,51	0,13										
Holzfaserdämmung (Innenausbau) Mineralwolle (Boden)	29,65	160,00	0,04										
Normalbeton	14,00	2400,00	1,51										
TFL mas _h _7	1971- 1990	x x x	Mineralwolle (Boden)	21,00	85,00	0,04							
Mineralwolle (Boden)	6,00	30,00- 200,00	0,04										
Normalbeton	14,00	2400,00	1,51										

TFL mas _h _8	1971- 1990	x x x	Gipsfaserplatte Lattung Holzfaserdämmung (Innenausbau) Mineralwolle (Boden) Normalbeton	2,50 4,35 29,65 6,00 14,00	1000,00 484,51 160,00 30,00- 200,00 2400,00	0,35 0,13 0,04 0,04 1,51	Grundlage Alt- baukonstruktion TFLmas_20; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung und begehbarem Trockenestrich; Holzabmessung bxh = 80x(2*170) mm, Achsab- stand: 62,5 cm	57,3 720,8 1939,7	11,7 8,7 1364,9
TFL mas _h _9	1981- 1990	x x	Mineralwolle (Boden) Mineralwolle (Boden) Normalbeton	21,00 6,00 14,00	85,00 30,00- 200,00 2400,00	0,04 0,04 1,51	Grundlage Alt- baukonstruktion TFLmas_21; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	29,9 399,3 462,5	26,9 360,3 410,3
TFL mas _h _10	1981- 1990	x x	Gipsfaserplatte Lattung Holzfaserdämmung (Innenausbau) Mineralwolle (Boden) Normalbeton	2,50 4,35 29,65 6,00 14,00	1000,00 484,51 160,00 30,00- 200,00 2400,00	0,35 0,13 0,04 0,04 1,51	Grundlage Alt- baukonstruktion TFLmas_21; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung und begehbarem Trockenestrich; Holzabmessung bxh = 80x(2*170) mm, Achsab- stand: 62,5 cm	57,3 720,8 1939,7	11,7 8,7 1364,9
TFL mas _h _11	1971- 1990	x x x	Mineralwolle (Boden) Mineralwolle (Boden) Normalbeton	21,00 6,00 14,00	85,00 30,00- 200,00 2400,00	0,04 0,04 1,51	Grundlage Alt- baukonstruktion TFLmas_22; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	29,9 399,3 462,5	26,9 360,3 410,3
TFL mas _h _12	1971- 1990	x x x	Gipsfaserplatte Lattung Holzfaserdämmung (Innenausbau) Mineralwolle (Boden) Normalbeton	2,50 4,35 29,65 6,00 14,00	1000,00 484,51 160,00 30,00- 200,00 2400,00	0,35 0,13 0,04 0,04 1,51	Grundlage Alt- baukonstruktion TFLmas_22; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaserdäm- mung und begehb- barem Trockenestrich; Holzabmessung bxh = 80x(2*170) mm, Achsab- stand: 62,5 cm	57,3 720,8 1939,7	11,7 8,7 1364,9
TFL mas _h _13	1976- 1990	x x x	Mineralwolle (Boden) Mineralwolle (Boden) Normalbeton	21,00 6,00 14,00	85,00 30,00- 200,00 2400,00	0,04 0,04 1,51	Grundlage Alt- baukonstruktion TFLmas_23; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	29,9 399,3 462,5	26,9 360,3 410,3
TFL mas _h _14	1976- 1990	x x x	Gipsfaserplatte Lattung Holzfaserdämmung (Innenausbau) Mineralwolle (Boden) Normalbeton	2,50 4,35 29,65 6,00 14,00	1000,00 484,51 160,00 30,00- 200,00 2400,00	0,35 0,13 0,04 0,04 1,51	Grundlage Alt- baukonstruktion TFLmas_23; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung und begehbarem Trockenestrich; Holzabmessung bxh = 80x(2*170) mm, Achsab- stand: 62,5 cm	57,3 720,8 1939,7	11,7 8,7 1364,9
TFL mas _h _15	1971- 1990	x x x	Mineralwolle (Boden) Mineralwolle (Boden) Normalbeton	21,00 6,00 14,00	85,00 30,00- 200,00 2400,00	0,04 0,04 1,51	Grundlage Alt- baukonstruktion TFLmas_24; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	29,9 399,3 462,5	26,9 360,3 410,3

A.4 Bilanzierte Sanierungskonstruktionen

TFL mas _h _16	1971- 1990	x x x	Gipsfaserplatte Lattung Holzfaserdämmung (Innenausbau) Mineralwolle (Boden) Normalbeton	2,50 4,35 29,65 6,00 14,00	1000,00 484,51 160,00 30,00- 200,00 2400,00	0,35 0,13 0,04 0,04 1,51	Grundlage Alt- baukonstruktion TFLmas_24; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung und begehbarem Trockenestrich; Holzabmessung bxh = 80x(2*170) mm, Achsab- stand: 62,5 cm	57,3 720,8 1939,7	11,7 8,7 1364,9
TFL mas _h _17	1949- 1994	x x x x x	Mineralwolle (Boden) Bitumenbahn, Decke Mineralwolle (Innenausbau) Bitumenbahn, Decke Estrich Stahlbeton B15-B25 (97/3)	21,00 0,40 6,00 0,50 3,50 18,00	85,00 1000,00 26,25 1000,00 2400,00 2400,00	0,04 - 0,04 - 1,40 2,50	Grundlage Alt- baukonstruktion TFLmas_25; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	32,0 427,4 494,2	28,2 378,7 429,1
TFL mas _h _18	1949- 1994	x x x x x	Gipsfaserplatte Lattung Holzfaserdämmung (Innenausbau) Bitumenbahn, Decke Mineralwolle (Innenausbau) Bitumenbahn, Decke Estrich Stahlbeton B15-B25 (97/3)	2,50 4,35 29,65 0,40 6,00 0,50 3,50 18,00	1000,00 484,51 160,00 1000,00 26,25 1000,00 2400,00 2400,00	0,35 0,13 0,04 - 0,04 - 1,40 2,50	Grundlage Alt- baukonstruktion TFLmas_25; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung und begehbarem Trockenestrich; Holzabmessung bxh = 80x(2*170) mm, Achsab- stand: 62,5 cm	59,3 748,8 1971,4	13,0 27,0 1383,7
TFL mas _h _19	1991- 2000	x x	Mineralwolle (Boden) Estrich Estrichpapier Dämmung DE und OGD, jüngere BK PE-Folie Decke Stahlbeton B15-B25 (96/4) Innenputz	21,00 3,50 0,10 6,00 0,10 16,00 1,50	85,00 2400,00 800,00 85,00 930,00 2400,00 900,00	0,04 1,40 - 0,04 - 2,50 0,70	Grundlage Alt- baukonstruktion TFLmas_28; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	37,8 420,1 486,4	31,7 338,6 381,1
TFL mas _h _20	1991- 2000	x x	Gipsfaserplatte Lattung Holzfaserdämmung (Innenausbau) Estrich Estrichpapier Dämmung DE und OGD, jüngere BK PE-Folie Decke Stahlbeton B15-B25 (96/4) Innenputz	2,50 4,35 29,65 3,50 0,10 6,00 0,10 16,00 1,50	1000,00 484,51 160,00 2400,00 800,00 85,00 930,00 2400,00 900,00	0,35 0,13 0,04 1,40 - 0,04 - 2,50 0,70	Grundlage Alt- baukonstruktion TFLmas_28; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung und begehbarem Trockenestrich; Holzabmessung bxh = 80x(2*170) mm, Achsab- stand: 62,5 cm	65,1 741,5 1963,5	16,5 -13,0 1335,7
TFL mas _h _21	2002- 2020	x x x	Mineralwolle (Boden) Mineralwolle (Boden) Stahlbeton C20/25 (99/1)	8,00 19,00 16,00	85,00 85,00 2400,00	0,04 0,04 2,30	Grundlage Alt- baukonstruktion TFLmas_29; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	12,6 177,8 205,0	9,3 133,6 145,9
TFL mas _h _22	2002- 2020	x x x	Gipsfaserplatte Lattung Holzfaserdämmung (Innenausbau) Mineralwolle (Boden) Stahlbeton C20/25 (99/1)	2,50 4,35 29,65 19,00 16,00	1000,00 484,51 160,00 85,00 2400,00	0,35 0,13 0,04 0,04 2,30	Grundlage Alt- baukonstruktion TFLmas_29; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung und begehbarem Trockenestrich; Holzabmessung bxh = 80x(2*170) mm, Achsab- stand: 62,5 cm	57,9 735,7 1955,8	11,9 18,5 1374,2
TFL mas _h _23	2002- 2020	x x x	Mineralwolle (Boden) Gipsfaserplatte Holzfaserdämmung (Innenausbau) Stahlbeton C30/37 (98/2) Innenputz	9,00 2,50 18,50 24,00 2,00	85,00 1000,00 160,00 2400,00 900,00	0,04 0,35 0,04 2,50 0,70	Grundlage Alt- baukonstruktion TFLmas_30; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	76,4 192,4 224,5	54,9 -157,8 -229,1

TFL mas _h 2002- 2020 _24	x	x	x	Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	Grundlage Altbaukonstruktion TFLmas_30; maximale Umweltwirkungen mit Holzfaserdämmung und begehbarem Trockenestrich; Holzabmessung bxh = 80x(2*170) mm, Achsabstand: 62,5 cm	120,2	732,1	1954,3	56,2	-291,0	978,1
				Lattung	4,35	484,51	0,13							
				Holzfaserdämmung (Innenausbau)	29,65	160,00	0,04							
				Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
				Holzfaserdämmung (Innenausbau)	18,50	160,00	0,04							
				Stahlbeton C30/37 (98/2)	24,00	2400,00	2,50							
				Innenputz	2,00	900,00	0,70							
									93,3	300,3	-44,1	61,8	-160,5	-99,3
TFL wood _uh _1	1949-1957	x		Mineralwolle (Boden)	9,00	85,00	0,04	Grundlage Altbaukonstruktion TFLwood_3; minimale Umweltwirkungen mit Mineralwolle-dämmung						
				Spanplatten	1,00	633,31	0,14							
				Mineralwolle (Innenausbau)	14,08	85,00	0,04							
				PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
				Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,14							
				Luftschicht, ruhend	16,00	-	-							
				Holzbalken	1,90	492,92	0,14							
				Sparschalung	2,40	484,51	0,14							
				Holzwolle-Leichtbauplatte	5,00	360,00	0,09							
				Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70							
									122,3	659,4	1154,4	62,2	-232,4	656,4
TFL wood _uh _2	1949-1957	x		Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	Grundlage Altbaukonstruktion TFLwood_3; maximale Umweltwirkungen mit Holzfaserdämmung, BSH (zusätzliche statische Wirkung) und begehbarem Trockenestrich; Holzabmessung bxh = 60x140 mm, Achsabstand: 62,5 cm	122,3	659,4	1154,4	62,2	-232,4	656,4
				Holzfaserdämmung (Innenausbau)	12,66	160,00	0,04							
				Brettschichtholz	1,34	507,11	0,13							
				Holzfaserdämmung (Innenausbau)	14,10	160,00	0,04							
				PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
				Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,14							
				Luftschicht, ruhend	16,00	-	-							
				Holzbalken	1,90	492,92	0,14							
				Sparschalung	2,40	484,51	0,14							
				Holzwolle-Leichtbauplatte	5,00	360,00	0,09							
Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70											
									99,3	318,7	-22,7	66,2	-160,3	-101,3
TFL wood _uh _3	1958-1968	x		Mineralwolle (Boden)	11,00	85,00	0,04	Grundlage Altbaukonstruktion TFLwood_4; minimale Umweltwirkungen mit Mineralwolle-dämmung						
				Spanplatten	1,00	633,31	0,14							
				Mineralwolle (Innenausbau)	10,56	85,00	0,04							
				PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
				Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,14							
				Luftschicht, ruhend	12,00	-	-							
				Dämmung DE und OGD, ältere BK	3,50	30,00-200,00	0,04							
				Holzbalken	1,90	492,92	0,14							
				Sparschalung	2,40	484,51	0,14							
				Holzwolle-Leichtbauplatte	3,00	360,00	0,09							
Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70											
									128,6	677,6	1207,6	65,6	-251,5	669,7
TFL wood _uh _4	1958-1968	x		Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	Grundlage Altbaukonstruktion TFLwood_4; maximale Umweltwirkungen mit Holzfaserdämmung, BSH (zusätzliche statische Wirkung) und begehbarem Trockenestrich; Holzabmessung bxh = 60x150 mm, Achsabstand: 62,5 cm	128,6	677,6	1207,6	65,6	-251,5	669,7
				Holzfaserdämmung (Innenausbau)	13,56	160,00	0,04							
				Brettschichtholz	1,44	507,11	0,13							
				Holzfaserdämmung (Innenausbau)	14,08	160,00	0,04							
				PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
				Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,14							
				Luftschicht, ruhend	12,00	-	-							
				Dämmung DE und OGD, ältere BK	3,50	30,00-200,00	0,04							
				Holzbalken	1,90	492,92	0,14							
				Sparschalung	2,40	484,51	0,14							
Holzwolle-Leichtbauplatte	3,00	360,00	0,09											
Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70											
									51,2	562,7	1158,1	17,4	77,6	1071,6
TFL wood _uh _5	1969-1978	x		Mineralwolle (Boden)	12,00	85,00	0,04	Grundlage Altbaukonstruktion TFLwood_5; minimale Umweltwirkungen mit Mineralwolle-dämmung						
				Spanplatten	1,00	633,31	0,14							
				Mineralwolle (Innenausbau)	7,92	85,00	0,04							
				PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
				Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,14							
				Luftschicht, ruhend	4,00	-	-							
				Dämmung DE und OGD, ältere BK	7,00	30,00-200,00	0,04							
				Holzbalken	1,90	492,92	0,14							
				Sparschalung	2,40	484,51	0,14							
				Gipskartonplatte	1,25	800,00	0,21							

A.4 Bilanzierte Sanierungskonstruktionen

TFL wood _uh _6	1969- 1978	x	Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	Grundlage Alt- baukonstruktion TFLwood_5; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaserdäm- mung, BSH (zu- sätzliche statis- che Wirkung) und begehbarem Trockenestrich; Holzabmessung bxh = 60x150 mm, Achsab- stand: 62,5 cm	130,2	677,8	1208,0	66,7	-257,3	662,2
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	13,56	160,00	0,04							
			Brettschichtholz	1,44	507,11	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	14,08	160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,14							
			Luftschicht, ruhend	4,00	-	-							
			Dämmung DE und OGD, ältere BK	7,00	30,00- 200,00	0,04							
			Holzbalken	1,90	492,92	0,14							
			Sparschalung	2,40	484,51	0,14							
Gipskartonplatte	1,25	800,00	0,21										
TFL wood _uh _7	1949- 1968	x x	Mineralwolle (Boden)	21,00	85,00	0,04	Grundlage Altbau- konstruktion TFLwood_6; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	99,9	395,3	-282,6	66,8	-45,5	-153,6
			Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,14							
			Schlackenschüt- tung/-füllung	10,00	1200,00	0,19							
			Bretter	2,00	484,51	0,14							
			Luftschicht, ruhend	4,00	-	0,16							
			Holzbalken	1,90	492,92	0,14							
			Sparschalung	2,40	484,51	0,14							
			Schilfrohrträger	1,00	100,00	0,08							
Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70										
TFL wood _uh _8	1949- 1968	x x	Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	Grundlage Alt- baukonstruktion TFLwood_6; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung, BSH (zusätzliche statische Wirkung) und begehbarem Trockenestrich; Holzabmessung bxh = 60x160 mm, Achsab- stand: 62,5 cm	125,9	702,8	1100,3	61,7	-266,3	676,5
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	14,46	160,00	0,04							
			Brettschichtholz	1,54	507,11	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	14,08	160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,14							
			Schlackenschüt- tung/-füllung	10,00	1200,00	0,19							
			Bretter	2,00	484,51	0,14							
			Luftschicht, ruhend	4,00	-	0,16							
			Holzbalken	1,90	492,92	0,14							
Sparschalung	2,40	484,51	0,14										
Schilfrohrträger	1,00	100,00	0,08										
Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70										
TFL wood _uh _9	1969- 1978	x	Mineralwolle (Boden)	20,00	85,00	0,04	Grundlage Alt- baukonstruktion TFLwood_10; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	63,0	370,3	57,9	46,5	149,0	122,3
			Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,14							
			Luftschicht, ruhend	10,00	-	0,61							
			Mineralwolle (Innenausbau)	5,30	30,00- 200,00	0,04							
			Holzbalken	1,90	492,92	0,14							
			Gipskartonplatte	1,25	800,00	0,21							
TFL wood _uh _10	1969- 1978	x	Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	Grundlage Alt- baukonstruktion TFLwood_10; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung, BSH (zusätzliche statische Wirkung) und begehbarem Trockenestrich; Holzabmessung bxh = 60x180 mm, Achsab- stand: 62,5 cm	93,4	732,8	1570,2	43,4	-55,4	1047,9
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	16,27	160,00	0,04							
			Brettschichtholz	1,73	507,11	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	14,08	160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,14							
			Luftschicht, ruhend	10,00	-	0,61							
			Mineralwolle (Innenausbau)	5,30	30-200	0,04							
			Holzbalken	1,90	492,92	0,14							
			Gipskartonplatte	1,25	800,00	0,21							
TFL wood _uh _11	1949- 1957	x	Mineralwolle (Boden)	24,00	85,00	0,04	Grundlage Alt- baukonstruktion TFLwood_14; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	87,5	440,6	-61,1	61,9	99,6	38,6
			Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,14							
			Luftschicht, ruhend	16,00	-	0,61							
			Holzbalken	1,90	492,92	0,14							
			Schalung	2,40	484,51	0,14							

TFL wood _uh _12	1949- 1957	x	Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	Grundlage Alt- baukonstruktion TFLwood_14; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung, BSH (zusätzliche statische Wirkung) und begehbarem Trockenestrich; Holzabmessung bxh = 60x170 mm, Achsab- stand: 62,5 cm	110,8	711,9	1312,9	53,0	-176,7	842,7
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	15,37	160,00	0,04							
			Brettschichtholz	1,63	507,11	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	14,08	160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,14							
			Luftschicht, ruhend	16,00	-	0,61							
			Holzbalken	1,90	492,92	0,14							
			Schalung	2,40	484,51	0,14							
								106,5	432,7	-279,7	71,2	-39,2	-150,6
TFL wood _uh _13	bis 1948	x x	Mineralfolle (Boden)	23,00	85,00	0,04	Grundlage Altbau- konstruktion TFLwood_16; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralfolle- dämmung	106,5	432,7	-279,7	71,2	-39,2	-150,6
			Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,13							
			Lehmschüttung	10,80	1000,00	0,35							
			Bretter	1,80	484,51	0,14							
			Luftschicht, ruhend	6,00	-	0,37							
			Holzbalken	2,00	492,92	0,13							
			Schalung	1,50	484,51	0,13							
			Spalierlatten	1,50	k.A.	0,14							
			Kalkgipsputz	1,50	900,00	0,70							
								130,6	712,7	1091,5	64,4	-283,6	648,9
TFL wood _uh _14	bis 1948	x x	Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	Grundlage Alt- baukonstruktion TFLwood_16; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung, BSH (zusätzliche statische Wirkung) und begehbarem Trockenestrich; Holzabmessung bxh = 60x130 mm, Achsab- stand: 62,5 cm	130,6	712,7	1091,5	64,4	-283,6	648,9
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	11,75	160,00	0,04							
			Brettschichtholz	1,25	507,11	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	17,60	160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,13							
			Lehmschüttung	10,80	1000,00	0,35							
			Bretter	1,80	484,51	0,14							
			Luftschicht, ruhend	6,00	-	0,37							
Holzbalken	2,00	492,92	0,13										
Schalung	1,50	484,51	0,13										
Spalierlatten	1,50	k.A.	0,14										
Kalkgipsputz	1,50	900,00	0,70										
								94,7	430,0	-159,8	65,4	39,0	-45,5
TFL wood _uh _15	bis 1948	x x	Mineralfolle (Boden)	23,00	85,00	0,04	Grundlage Altbau- konstruktion TFLwood_17; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralfolle- dämmung	94,7	430,0	-159,8	65,4	39,0	-45,5
			Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,13							
			Steinkohleschlacke	10,80	905,00	0,19							
			Bretter	1,80	484,51	0,13							
			Luftschicht, ruhend	6,00	-	0,37							
			Holzbalken	2,00	492,92	0,13							
			Schalung	1,50	484,51	0,13							
			Schilfrohrträger	1,50	100,00	0,08							
			Innenputz	1,00	900,00	0,70							
								117,2	691,6	1157,2	58,2	-204,6	716,7
TFL wood _uh _16	bis 1948	x x	Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	Grundlage Alt- baukonstruktion TFLwood_17; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung, BSH (zusätzliche statische Wirkung) und begehbarem Trockenestrich; Holzabmessung bxh = 60x120 mm, Achsab- stand: 62,5 cm	117,2	691,6	1157,2	58,2	-204,6	716,7
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	10,85	160,00	0,04							
			Brettschichtholz	1,15	507,11	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	17,60	160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,13							
			Steinkohleschlacke	10,80	905,00	0,19							
			Bretter	1,80	484,51	0,13							
			Luftschicht, ruhend	6,00	-	0,37							
Holzbalken	2,00	492,92	0,13										
Schalung	1,50	484,51	0,13										
Schilfrohrträger	1,50	100,00	0,08										
Innenputz	1,00	900,00	0,70										
								100,6	449,4	-33,3	71,4	59,3	69,7
TFL wood _uh _17	bis 1918	x	Mineralfolle (Boden)	24,00	85,00	0,04	Grundlage Altbau- konstruktion TFLwood_18; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralfolle- dämmung	100,6	449,4	-33,3	71,4	59,3	69,7
			Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,14							
			Lehmschlag	4,00	900,00/ 100,00/ 900,00/ 716,80	0,70							
			Lehmwickel	14,00	100,00/ 716,80	0,47							
			Holzbalken	2,00	492,92	0,14							
			Lattung	2,00	484,54	0,14							
Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70										

A.4 Bilanzierte Sanierungskonstruktionen

TFL wood _uh _18	bis 1918	x	Gipsfaserplatte	2,50	1000	0,35	Grundlage Altbaukonstruktion TFLwood_18; maximale Umweltwirkungen mit Holzfaserdämmung, BSH (zusätzliche statische Wirkung) und begehbarem Trockenestrich; Holzabmessung bxh = 60x150 mm, Achsabstand: 62,5 cm	123,6	716,0	1328,8	62,9	-210,2	861,0							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	13,56	160	0,04														
			Brettschichtholz	1,44	507,11	0,13														
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	15,84	160	0,04														
			PE-Folie Decke	0,02	930	-														
			Dielung/Bretterboden	2,50	484,51	0,14														
			Lehmschlag	4,00	900,00/100,00/900,00/	0,70														
			Lehmwickel	14,00	100,00/716,80	0,47														
			Holzbalken	2,00	492,92	0,14														
			Lattung	2,00	484,54	0,14														
Kalkgipsputz	1,00	900,00	0,70																	
TFL wood _uh _19	1961-2000	x x x x x	Mineralwolle (Boden)	10,00	85,00	0,04	Grundlage Altbaukonstruktion TFLwood_22; minimale Umweltwirkungen mit Mineralwolledämmung	80,4	279,1	-35,4	53,5	-129,0	-53,8							
			Spanplatten	1,00	633,31	0,14														
			Mineralwolle (Innenausbau)	7,66	85,00	0,04														
			Schalung	2,00	484,54	0,13														
			Mineralwolle (Innenausbau)	8,00	26,25	0,04														
			Holzbalken	2,40	492,92	0,13														
			Sparschalung	2,00	484,51	0,13														
			Holzwolle-Leichtbauplatte	2,50	360,00	0,09														
			Innenputz	1,50	900,00	0,70														
			TFL wood _uh _20	1961-2000	x x x x x	Gipsfaserplatte								2,50	1000,00	0,35	Grundlage Altbaukonstruktion TFLwood_22; maximale Umweltwirkungen mit Holzfaserdämmung, BSH (zusätzliche statische Wirkung) und begehbarem Trockenestrich; Holzabmessung bxh = 60x140 mm, Achsabstand: 62,5 cm	114,1	694,2	1285,7
Holzfaserdämmung (Innenausbau)	12,66	160,00				0,04														
Brettschichtholz	1,34	507,11				0,13														
Holzfaserdämmung (Innenausbau)	15,84	160,00				0,04														
PE-Folie Decke	0,02	930,00				-														
Schalung	2,00	484,54				0,13														
Mineralwolle (Innenausbau)	8,00	26,25				0,04														
Holzbalken	2,40	492,92				0,13														
Sparschalung	2,00	484,51				0,13														
Holzwolle-Leichtbauplatte	2,50	360,00				0,09														
Innenputz	1,50	900,00	0,70																	
TFL wood _uh _21	1961-2000	x x x x x	Mineralwolle (Boden)	10,00	85,00	0,04	Grundlage Altbaukonstruktion TFLwood_23; minimale Umweltwirkungen mit Mineralwolledämmung	71,1	290,2	86,0	49,0	-53,1	48,5							
			Spanplatten	1,00	633,31	0,14														
			Mineralwolle (Innenausbau)	10,17	85,00	0,04														
			Schalung	2,00	484,54	0,13														
			Mineralwolle (Innenausbau)	5,00	26,25	0,04														
			Holzbalken	2,50	492,92	0,13														
			Sparschalung	0,60	484,51	0,13														
			Holzwolle-Leichtbauplatte	2,50	360,00	0,09														
			Innenputz	1,50	900,00	0,70														
			TFL wood _uh _22	1961-2000	x x x x x	Gipsfaserplatte								2,50	1000,00	0,35	Grundlage Altbaukonstruktion TFLwood_23; maximale Umweltwirkungen mit Holzfaserdämmung, BSH (zusätzliche statische Wirkung) und begehbarem Trockenestrich; Holzabmessung bxh = 60x150 mm, Achsabstand: 62,5 cm	104,7	704,7	1427,7
Holzfaserdämmung (Innenausbau)	13,56	160,00				0,04														
Brettschichtholz	1,44	507,11				0,13														
Holzfaserdämmung (Innenausbau)	15,50	160,00				0,04														
PE-Folie Decke	0,02	930,00				-														
Schalung	2,00	484,54				0,13														
Mineralwolle (Innenausbau)	5,00	26,25				0,04														
Holzbalken	2,50	492,92				0,13														
Sparschalung	0,60	484,51				0,13														
Holzwolle-Leichtbauplatte	2,50	360,00				0,09														
Innenputz	1,50	900,00	0,70																	
TFL wood _uh _23	2002-2009	x	Mineralwolle (Boden)	15,00	85,00	0,04	Grundlage Altbaukonstruktion TFLwood_25; minimale Umweltwirkungen mit Mineralwolledämmung	77,1	266,3	-167,4	55,5	-119,2	-201,0							
			GKF-Platte	1,25	800,00	0,25														
			OSB-Platte	1,80	600,00	0,13														
			Konstruktionsvollholz	1,60	492,92	0,13														
			Luftschicht, ruhend	7,36	-	0,49														
			Zellulosefaser-Einblasdämmung	11,04	45,00	0,04														
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13														
			GKF-Platte	1,25	800,00	0,25														

TFL wood _uh _24	2002- 2009	x	Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	Grundlage Altbaukonstruktion TFLwood_25; maximale Umweltwirkungen mit Holzfaserdämmung, BSH (zusätzliche statische Wirkung) und begehbarem Trockenestrich; Holzabmessung b x h = 60x110 mm, Achsabstand: 62,5 cm	92,0	666,7	1490,3	41,4	-214,2	906,6
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	9,94	160,00	0,04							
			Brettschichtholz	1,06	507,11	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	18,40	160,00	0,04							
			GKF-Platte	1,25	800,00	0,25							
			OSB-Platte	1,80	600,00	0,13							
			Konstruktionsvollholz	1,60	492,92	0,13							
			Luftschicht, ruhend	7,36	-	0,49							
			Zellulosefaser-Einblasdämmung	11,04	45,00	0,04							
OSB-Platte	1,50	600,00	0,13										
GKF-Platte	1,25	800,00	0,25										
TFL wood _uh _25	2010- 2020	x x	Mineralwolle (Boden)	15,00	85,00	0,04	Grundlage Altbaukonstruktion TFLwood_26; minimale Umweltwirkungen mit Mineralwolle-dämmung	85,9	266,4	-174,0	61,5	-158,0	-251,2
			GKF-Platte	1,25	800,00	0,25							
			OSB-Platte	1,80	600,00	0,13							
			Konstruktionsvollholz	1,68	492,92	0,13							
			Zellulosefaser-Einblasdämmung	19,32	45,00	0,04							
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
			GKF-Platte	1,25	800,00	0,25							
TFL wood _uh _26	2010- 2020	x x	Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	Grundlage Altbaukonstruktion TFLwood_26; maximale Umweltwirkungen mit Holzfaserdämmung, BSH (zusätzliche statische Wirkung) und begehbarem Trockenestrich; Holzabmessung b x h = 60x110 mm, Achsabstand: 62,5 cm	116,9	641,9	1236,8	64,6	-258,6	626,4
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	9,04	160,00	0,04							
			Brettschichtholz	0,96	507,11	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	18,40	160,00	0,04							
			GKF-Platte	1,25	800,00	0,25							
			OSB-Platte	1,80	600,00	0,13							
			Konstruktionsvollholz	1,68	492,92	0,13							
			Zellulosefaser-Einblasdämmung	19,32	45,00	0,04							
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
GKF-Platte	1,25	800,00	0,25										
TFL wood _uh _27	2002- 2009	x	Mineralwolle (Boden)	15,00	85,00	0,04	Grundlage Altbaukonstruktion TFLwood_31; minimale Umweltwirkungen mit Mineralwolle-dämmung	230,2	280,4	-1707,0	140,0	-1091,5	-1520,8
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	4,00	160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Brettspertholz	24,00	489,41	0,13							
			Lattung	0,58	484,51	0,13							
			Luftschicht, ruhend	5,42	-	0,37							
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
TFL wood _uh _28	2002- 2009	x	Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	Grundlage Altbaukonstruktion TFLwood_31; maximale Umweltwirkungen mit Holzfaserdämmung, BSH (zusätzliche statische Wirkung) und begehbarem Trockenestrich; Holzabmessung b x h = 60x220 mm, Achsabstand: 62,5 cm	252,1	550,6	-644,4	136,3	-1249,0	-834,0
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	19,89	160,00	0,04							
			Brettschichtholz	2,11	507,11	0,13							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	4,00	160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Brettspertholz	24,00	489,41	0,13							
			Lattung	0,58	484,51	0,13							
			Luftschicht, ruhend	5,42	-	0,37							
Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35										
TFL wood _uh _29	2010- 2020	x x	Mineralwolle (Boden)	8,00	85,00	0,04	Grundlage Altbaukonstruktion TFLwood_32; minimale Umweltwirkungen mit Mineralwolle-dämmung	244,0	153,3	-1854,0	147,6	-1326,2	-1806,1
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	11,00	160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Brettspertholz	24,00	489,41	0,13							
			Lattung	0,58	484,51	0,13							
			Luftschicht, ruhend	5,42	-	0,37							
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							

A.4 Bilanzierte Sanierungskonstruktionen

TFL wood _uh _30	2010- 2020	x x	Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35	Grundlage Alt- baukonstruktion TFLwood_32; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaserdäm- mung, BSH (zusätzliche statische Wirkung) und begehbarem Trockenestrich; Holzabmessung bxh = 60x220 mm, Achsab- stand: 62,5 cm	275,5	550,8	-644,0	153,6	-1356,4	-972,1
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	19,89	160,00	0,04							
			Brettschichtholz	2,11	507,11	0,13							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	11,00	160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Brettsperrholz	24,00	489,41	0,13							
			Lattung	0,58	484,51	0,13							
			Luftschicht, ruhend	5,42	-	0,37							
Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35										
CFL mas _uh _1	bis 1948	x x	Dielung/Bretterboden	2,50	488,33	0,21	Grundlage Altbau- konstruktion CFLmas_4; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	35,4	106,6	-123,7	17,1	-138,3	-64,6
			Lagerhölzer mit Schlackenfüllung	12,00	492,92/ 1200,00	0,14/ 0,42							
			Kappendecke aus Vollziegel (mit Stahlträgern)	12,00	1800,00/ 7850,00/ 2000,00	0,79							
			Lattung	1,25	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	11,75	26,25	0,04							
			GKF-Platte	1,25	800,00	0,25							
CFL mas _uh _2	bis 1948	x x	Dielung/Bretterboden	2,50	488,33	0,21	Grundlage Altbau- konstruktion CFLmas_4; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung	56,5	394,1	643,4	26,7	-50,2	453,6
			Lagerhölzer mit Schlackenfüllung	12,00	492,92/ 1200,00	0,14/ 0,42							
			Kappendecke aus Vollziegel (mit Stahlträgern)	12,00	1800,00/ 7850,00/ 2000,00	0,79							
			Lattung	1,34	484,51	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	12,66	160,00	0,04							
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
CFL mas _uh _3	1919- 1948	x	Verbundestrich	6,00	2400,00	0,87	Grundlage Alt- baukonstruktion CFLmas_5; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	11,3	137,0	206,9	2,5	20,9	168,9
			Betondecke (99/1)	16,00	2300,00	1,51							
			Lattung	1,44	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	13,56	26,25	0,04							
			GKF-Platte	1,25	800,00	0,25							
CFL mas _uh _4	1919- 1948	x	Verbundestrich	6,00	2400,00	0,87	Grundlage Alt- baukonstruktion CFLmas_5; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung	34,5	448,2	1062,3	12,5	104,9	739,7
			Betondecke (99/1)	16,00	2300,00	1,51							
			Lattung	1,54	484,51	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	14,46	160,00	0,04							
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
CFL mas _uh _5	1949- 1968	x x	Schwimmender Estrich	5,00	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion CFLmas_18; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	11,1	133,0	202,5	1,9	12,4	158,5
			Stahlbeton B15-B25 (97/3)	18,00	2400,00	1,05							
			Lattung	1,44	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	13,56	26,25	0,04							
			GKF-Platte	1,25	800,00	0,25							
CFL mas _uh _6	1949- 1968	x x	Schwimmender Estrich	5,00	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion CFLmas_18; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung	34,3	444,9	1060,0	11,9	96,5	730,6
			Stahlbeton B15-B25 (97/3)	18,00	2400,00	1,05							
			Lattung	1,54	484,51	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	14,50	160,00	0,04							
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
CFL mas _uh _7	bis 1918	x	Dielung/Bretterboden	2,50	488,33	0,21	Grundlage Altbau- konstruktion CFLmas_27; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	32,6	100,4	-103,3	15,6	-126,7	-47,3
			Holzbaiken mit Steinkohleschlacke	8,00	492,92/ 905,00	0,14/ 0,19							
			Kappendecke aus Vollziegel (mit Stahlträgern)	10,00	1800,00	0,81							
			Lattung	1,25	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	11,75	26,25	0,04							
			GKF-Platte	1,25	800,00	0,25							

CFL mas _uh _8	bis 1918	x	Dielung/Bretterboden	2,50	488,33	0,21	Grundlage Altbau- konstruktion CFLmas_27; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung	53,8	387,9	663,8	25,2	-38,6	471,0
			Holzbalken mit Steinkohleschlacke	8,00	492,92/ 905,00	0,14/ 0,19							
			Kappendecke aus Vollziegel (mit Stahlträgern)	10,00	1800,00	0,81							
			Lattung	1,34	484,51	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	12,66	160,00	0,04							
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
CFL mas _uh _9	bis 1968	x x x x	Dielung/Bretterboden	2,50	488,33	0,21	Grundlage Altbau- konstruktion CFLmas_35; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	30,7	115,5	-52,0	14,2	-105,6	-1,6
			Lagerhölzer mit Sandschüttung	3,50	492,92/ 1350,00	0,14/ 0,58							
			Kappendecke aus Beton (mit Stahlträgern)	12,00	2400,00/ 7874,00/ 7850,00	3,21							
			Lattung	1,44	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	13,56	26,25	0,04							
			GKF-Platte	1,25	800,00	0,25							
CFL mas _uh _10	bis 1968	x x x x	Dielung/Bretterboden	2,50	488,33	0,21	Grundlage Altbau- konstruktion CFLmas_35; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung	53,9	426,7	803,5	24,1	-21,6	569,2
			Lagerhölzer mit Sandschüttung	3,50	492,92/ 1350,00	0,14/ 0,58							
			Kappendecke aus Beton (mit Stahlträgern)	12,00	2400,00/ 7874,00/ 7850,00	3,21							
			Lattung	1,54	484,51	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	14,46	160,00	0,04							
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
CFL mas _uh _11	1971- 1990	x x x	Estrich (Anhydrit)	4,00	2100,00	1,20	Grundlage Altbau- konstruktion CFLmas_37; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	9,1	107,6	169,5	1,5	7,4	137,2
			Mineralwolle (Boden)	1,50	30,00- 200,00	0,04							
			Betondecke (97/3)	14,00	2400,00	1,51							
			Lattung	1,25	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	11,75	26,25	0,04							
			GKF-Platte	1,25	800,00	0,25							
CFL mas _uh _12	1971- 1990	x x x	Estrich (Anhydrit)	4,00	2100,00	1,20	Grundlage Altbau- konstruktion CFLmas_37; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung	31,7	412,3	988,8	11,4	94,0	691,0
			Mineralwolle (Boden)	1,50	30,00- 200,00	0,04							
			Betondecke (97/3)	14,00	2400,00	1,51							
			Lattung	1,44	484,51	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	13,56	160,00	0,04							
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
CFL mas _uh _13	1870- 1918	x	Dielung/Bretterboden	2,40	488,33	0,21	Grundlage Altbau- konstruktion CFLmas_38; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	28,7	131,3	-4,8	12,1	-89,7	-0,9
			Estrich	3,50	2400,00	1,40							
			Sand/ Lehm/ Schlacke	6,00	1350,00/ 900,00/ 1200,00	0,19							
			Beton B5-B20	10,00	2400,00	2,00							
			Vollziegel	12,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Lattung	1,25	484,51	0,13							
CFL mas _uh _14	1870- 1918	x	Dielung/Bretterboden	2,40	488,33	0,21	Grundlage Alt- baukonstruktion CFLmas_38; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung; Verän- derung der Wärmeleitfähig- keit der Sand-, Lehm-, Schlacken- Schüttung mit 0,58 W/mK	51,2	436,0	814,5	21,9	-3,1	553,0
			Estrich	3,50	2400,00	1,40							
			Sand/ Lehm/ Schlacke	6,00	1350,00/ 900,00/ 1200,00	0,58							
			Beton B5-B20	10,00	2400,00	2,00							
			Vollziegel	12,00	1800,00/ 2000,00	0,79							
			Lattung	1,44	484,51	0,13							

A.4 Bilanzierte Sanierungskonstruktionen

CFL mas _uh _15	1949- 1978	x x x	Dielung/Bretterboden	1,30	488,33	0,21	Grundlage Altbau- konstruktion CFLmas_39; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	29,3	138,3	95,7	16,0	-30,1	87,7
			Estrich	1,75	2400,00	1,40							
			Vergussbeton B5	2,50	2000,00	2,00							
			Betonfertigteile B20	9,20	2520,00	2,50							
			Bewehrungsstahl	0,00	7850,00	-							
			Holzwolle- Leichtbauplatte	2,50	360,00	0,09							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
			Lattung	1,34	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	12,66	26,25	0,04							
GKF-Platte	1,25	800,00	0,25										
							51,4	437,6	907,0	25,8	56,0	632,2	
CFL mas _uh _16	1949- 1978	x x x	Dielung/Bretterboden	1,30	488,33	0,21	Grundlage Altbau- konstruktion CFLmas_39; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung	51,4	437,6	907,0	25,8	56,0	632,2
			Estrich	1,75	2400,00	1,40							
			Vergussbeton B5	2,50	2000,00	2,00							
			Betonfertigteile B20	9,20	2520,00	2,50							
			Bewehrungsstahl	0,00	7850,00	-							
			Holzwolle- Leichtbauplatte	2,50	360,00	0,09							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
			Lattung	1,44	484,51	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	13,56	160,00	0,04							
Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35										
							19,5	120,2	183,5	8,7	-13,6	108,2	
CFL mas _uh _17	1949- 1978	x x x	Estrich	3,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion CFLmas_40; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	40,6	407,6	950,7	18,3	74,5	626,4
			Holzwolle- Leichtbauplatte	3,00	360,00	0,09							
			Bitumenbahn, Decke	0,40	1000,00	-							
			Hochofenschlacke	2,50	1200,00	0,19							
			Stahlbeton B20 (66/4)	19,00	2000,00/ 7850,00	2,19							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
			Lattung	1,25	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	11,75	26,25	0,04							
			GKF-Platte	1,25	800,00	0,25							
							40,6	407,6	950,7	18,3	74,5	626,4	
CFL mas _uh _18	1949- 1978	x x x	Estrich	3,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion CFLmas_40; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung	40,6	407,6	950,7	18,3	74,5	626,4
			Holzwolle- Leichtbauplatte	3,00	360,00	0,09							
			Bitumenbahn, Decke	0,40	1000,00	-							
			Hochofenschlacke	2,50	1200,00	0,19							
			Stahlbeton B20 (66/4)	19,00	2000,00/ 7850,00	2,19							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
			Lattung	1,34	484,51	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	12,66	160,00	0,04							
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
							14,5	98,7	152,2	5,2	-26,3	59,0	
CFL mas _uh _19	1991- 2000	x x	Estrich	3,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion CFLmas_43; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	30,2	321,5	690,5	13,7	71,3	436,4
			Estrichpapier	0,10	800,00	-							
			Dämmung KD, jüngere BK	3,00	85,00/ 18,50/ 160,00	0,04							
			Dämmung KD, jüngere BK	3,00	85,00/ 18,50/ 160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,10	930,00	-							
			Stahlbetondecke	16,00	2000,00/ 7850,00	2,50							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
			Lattung	0,86	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	8,14	26,25	0,04							
GKF-Platte	1,25	800,00	0,25										
							30,2	321,5	690,5	13,7	71,3	436,4	
CFL mas _uh _20	1991- 2000	x x	Estrich	3,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion CFLmas_43; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung	30,2	321,5	690,5	13,7	71,3	436,4
			Estrichpapier	0,10	800,00	-							
			Dämmung KD, jüngere BK	3,00	85,00/ 18,50/ 160,00	0,04							
			Dämmung KD, jüngere BK	3,00	85,00/ 18,50/ 160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,10	930,00	-							
			Stahlbetondecke	16,00	2000,00/ 7850,00	2,50							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
			Lattung	0,86	484,51	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	8,14	160,00	0,04							
Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35										

CFL mas _uh _21	1961- 1990	x x x x	Estrich	3,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion CFLmas_44; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	18,3	123,5	190,1	6,5	-24,9	102,7
			Holzwohle- Leichtbauplatte	2,50	360,00	0,09							
			Stahlbeton B15-B25 (96/4)	19,00	2000,00/ 7850,00	2,50							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
			Lattung	1,34	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	12,66	26,25	0,04							
			GKF-Platte	1,25	800,00	0,25							
CFL mas _uh _22	1961- 1990	x x x x	Estrich	3,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion CFLmas_44; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung	40,4	422,8	1001,4	16,2	61,2	647,2
			Holzwohle- Leichtbauplatte	2,50	360,00	0,09							
			Stahlbeton B15-B25 (96/4)	19,00	2000,00/ 7850,00	2,50							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
			Lattung	1,44	484,51	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	13,56	160,00	0,04							
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
CFL mas _uh _23	1961- 2000	x x x x x	Estrich	3,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion CFLmas_45; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	18,3	123,5	190,1	6,5	-24,9	102,7
			Holzwohle- Leichtbauplatte	2,50	360,00	0,09							
			Stahlbeton B15-B25 (96/4)	19,00	2000,00/ 7850,00	2,50							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
			Lattung	1,34	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	12,66	26,25	0,04							
			GKF-Platte	1,25	800,00	0,25							
CFL mas _uh _24	1961- 2000	x x x x x	Estrich	3,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion CFLmas_45; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung	40,4	422,8	1001,4	16,2	61,2	647,2
			Holzwohle- Leichtbauplatte	2,50	360,00	0,09							
			Stahlbeton B15-B25 (96/4)	19,00	2000,00/ 7850,00	2,50							
			Innenputz	1,50	900,00	0,70							
			Lattung	1,44	484,51	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	13,56	160,00	0,04							
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
CFL mas _uh _25	2002- 2009	x	Trockenestrich	2,50	800,00	0,25	Grundlage Altbau- konstruktion CFLmas_46; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	8,8	104,5	164,4	1,1	2,9	122,2
			Mineralwolle (Boden)	2,00	85,00	0,04							
			Stahlbeton C20/25 (99/1)	16,00	2400,00	2,30							
			Mineralwolle (Innenausbau)	3,50	26,25	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							
			Lattung	1,15	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	10,85	26,25	0,04							
GKF-Platte	1,25	800,00	0,25										
CFL mas _uh _26	2002- 2009	x	Trockenestrich	2,50	800,00	0,25	Grundlage Altbau- konstruktion CFLmas_46; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung	30,4	397,4	939,5	10,7	91,6	649,8
			Mineralwolle (Boden)	2,00	85,00	0,04							
			Stahlbeton C20/25 (99/1)	16,00	2400,00	2,30							
			Mineralwolle (Innenausbau)	3,50	26,25	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							
			Lattung	1,34	484,51	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	12,66	160,00	0,04							
Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35										
CFL mas _uh _27	2010- 2015	x	Trockenestrich	2,50	800,00	0,25	Grundlage Altbau- konstruktion CFLmas_47; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	8,8	105,0	164,9	1,1	3,4	122,7
			Mineralwolle (Boden)	2,00	85,00	0,04							
			Stahlbeton C20/25 (99/1)	16,00	2400,00	2,30							
			Mineralwolle (Innenausbau)	5,00	26,25	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							
			Lattung	1,15	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	10,85	26,25	0,04							
GKF-Platte	1,25	800,00	0,25										

A.4 Bilanzierte Sanierungskonstruktionen

CFL mas _uh _28	2010- 2015	x	Trockenestrich	2,50	800,00	0,25	Grundlage Altbau- konstruktion CFLmas_47; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung	30,4	397,9	940,0	10,7	92,0	650,3
			Mineralwolle (Boden)	2,00	85,00	0,04							
			Stahlbeton C20/25 (99/1)	16,00	2400,00	2,30							
			Mineralwolle (Innenausbau)	5,00	26,25	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							
			Lattung	1,34	484,51	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	12,66	160,00	0,04							
Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35										
<hr/>													
CFL mas _uh _29	2016- 2020	x	Trockenestrich	2,50	800,00	0,25	Grundlage Altbau- konstruktion CFLmas_48; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	8,8	105,5	165,4	1,1	3,8	123,2
			Mineralwolle (Boden)	2,00	85,00	0,04							
			Stahlbeton C20/25 (99/1)	16,00	2400,00	2,30							
			Mineralwolle (Innenausbau)	6,50	26,25	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							
			Lattung	1,15	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	10,85	26,25	0,04							
GKF-Platte	1,25	800,00	0,25										
<hr/>													
CFL mas _uh _30	2016- 2020	x	Trockenestrich	2,50	800,00	0,25	Grundlage Altbau- konstruktion CFLmas_48; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung	30,4	398,4	940,5	10,8	92,5	650,8
			Mineralwolle (Boden)	2,00	85,00	0,04							
			Stahlbeton C20/25 (99/1)	16,00	2400,00	2,30							
			Mineralwolle (Innenausbau)	6,50	26,25	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							
			Lattung	1,34	484,51	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	12,66	160,00	0,04							
Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35										
<hr/>													
CFL mas _uh _31	2002- 2009	x	Zementestrich	7,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion CFLmas_49; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	30,8	126,5	184,8	17,0	-78,2	-13,8
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	5,00	160,00	0,04							
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	24,00	2400,00	2,50							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	1,00	160,00	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							
			Lattung	0,86	484,51	0,13							
Mineralwolle (Innenausbau)	8,14	26,25	0,04										
GKF-Platte	1,25	800,00	0,25										
<hr/>													
CFL mas _uh _32	2002- 2009	x	Zementestrich	7,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion CFLmas_49; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung	48,0	366,6	775,2	25,7	18,0	399,3
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	5,00	160,00	0,04							
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	24,00	2400,00	2,50							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	1,00	160,00	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							
			Lattung	0,96	484,51	0,13							
Holzfaserdämmung (Innenausbau)	9,04	160,00	0,04										
Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35										
<hr/>													
CFL mas _uh _33	2010- 2015	x	Zementestrich	7,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion CFLmas_50; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	37,5	126,6	184,9	21,9	-108,9	-53,2
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	5,00	160,00	0,04							
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	24,00	2400,00	2,50							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	3,00	160,00	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							
			Lattung	0,86	484,51	0,13							
Mineralwolle (Innenausbau)	8,14	26,25	0,04										
GKF-Platte	1,25	800,00	0,25										

CFL mas _uh _34	2010- 2015	x	Zementestrich	7,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion CFLmas_50; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung	54,7	366,6	775,4	30,7	-12,7	359,8
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	5,00	160,00	0,04							
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	24,00	2400,00	2,50							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	3,00	160,00	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							
			Lattung	0,96	484,51	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	9,04	160,00	0,04							
Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35										
CFL mas _uh _35	2016- 2020	x	Zementestrich	7,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion CFLmas_51; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	42,6	126,7	185,0	25,6	-131,9	-82,8
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	5,00	160,00	0,04							
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	24,00	2400,00	2,50							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	4,50	160,00	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							
			Lattung	0,86	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	8,14	26,25	0,04							
GKF-Platte	1,25	800,00	0,25										
CFL mas _uh _36	2016- 2020	x	Zementestrich	7,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion CFLmas_51; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung	161,2	1278,3	2109,6	135,9	875,9	1664,5
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	5,00	160,00	0,04							
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	24,00	2400,00	2,50							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	4,50	160,00	0,04							
			WDVS Verklebung und Beschichtung	2,00	1759,00	1,00							
			Lattung	0,96	484,51	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	9,04	160,00	0,04							
Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35										
CFL wood _uh _1	1919- 1957	x x	Dielung/Bretterboden	2,50	488,33	0,14	Grundlage Altbau- konstruktion CFLwood_1; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	61,6	74,9	-454,2	32,1	-319,5	-339,1
			Holzbalken	2,40	492,92	0,14							
			Steinkohleschlacke	10,60	905,00	0,19							
			Bretter	2,00	484,51	0,14							
			Lattung	0,96	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	9,04	26,25	0,04							
			GKF-Platte	1,25	800,00	0,25							
CFL wood _uh _2	1919- 1957	x x	Estrich	7,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion CFLwood_1; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung	128,3	798,0	863,2	95,5	308,2	962,2
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	3,00	160,00	0,04							
			OSB-Platte	1,80	650,00	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	10,56	160,00	0,04							
			Dielung/Bretterboden	2,50	488,33	0,14							
			Holzbalken	2,40	492,92	0,14							
			Steinkohleschlacke	10,60	905,00	0,19							
Bretter	2,00	484,51	0,14										
Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35										
CFL wood _uh _3	1919- 1957	x x	Dielung/Bretterboden	2,50	488,33	0,14	Grundlage Altbau- konstruktion CFLwood_2; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	62,1	81,1	-445,4	31,8	-324,0	-336,0
			Holzbalken	2,40	492,92	0,14							
			Lehmschüttung	10,60	900,00	0,35							
			Bretter	2,00	484,51	0,14							
			Lattung	1,06	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	9,94	26,25	0,04							
			GKF-Platte	1,25	800,00	0,25							

A.4 Bilanzierte Sanierungskonstruktionen

CFL wood _uh _4	1919- 1957	x x	Estrich	7,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion CFLwood_2; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung	127,0	782,8	815,8	93,8	287,0	907,7
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	3,00	160,00	0,04							
			OSB-Platte	1,80	650,00	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	9,68	160,00	0,04							
			Dielung/Bretterboden	2,50	488,33	0,14							
			Holzbalken	2,40	492,92	0,14							
			Lehmschüttung	10,60	900,00	0,35							
			Bretter	2,00	484,51	0,14							
Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35										
<hr/>													
CFL wood _uh _5	bis 1918	x	Dielung/Bretterboden	2,50	488,33	0,21	Grundlage Altbau- konstruktion CFLwood_4; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	59,4	91,6	-393,1	30,2	-297,7	-288,1
			Holzbalken	1,90	492,92	0,14							
			Lehmschlag	14,10	900,00/ 100,00	0,70							
			Bretter	2,00	484,51	0,14							
			Lattung	1,25	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	11,75	26,25	0,04							
			GKF-Platte	1,25	800,00	0,25							
			<hr/>										
CFL wood _uh _6	bis 1918	x	Estrich	7,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion CFLwood_4; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung	123,4	782,5	852,2	92,1	312,1	936,8
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	3,00	160,00	0,04							
			OSB-Platte	1,80	650,00	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	9,68	160,00	0,04							
			Dielung/Bretterboden	2,50	488,33	0,21							
			Holzbalken	1,90	492,92	0,14							
			Lehmschlag	14,10	900/100	0,70							
			Bretter	2,00	484,51	0,14							
Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35										
<hr/>													
CFL wood _uh _7	bis 1948	x x	Dielung/Bretterboden	2,50	488,33	0,21	Grundlage Altbau- konstruktion CFLwood_5; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	60,0	109,0	-367,9	30,9	-279,5	-262,5
			Holzbalken	1,90	492,92	0,14							
			Sandschüttung	14,10	1350,00	0,58							
			Bretter	2,00	484,51	0,14							
			Lattung	1,25	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	11,75	26,25	0,04							
			GKF-Platte	1,25	800,00	0,25							
<hr/>													
CFL wood _uh _8	bis 1948	x x	Estrich	7,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion CFLwood_5; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung	124,0	799,9	877,4	92,7	330,3	962,5
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	3,00	160,00	0,04							
			OSB-Platte	1,80	650,00	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	9,68	160,00	0,04							
			Dielung/Bretterboden	2,50	488,33	0,21							
			Holzbalken	1,90	492,92	0,14							
			Sandschüttung	14,10	1350,00	0,58							
			Bretter	2,00	484,51	0,14							
Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35										
<hr/>													
CFL wood _uh _9	2002- 2015	x x	Trockenestrich	2,50	800,00	0,25	Grundlage Altbau- konstruktion CFLwood_6; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	58,1	42,3	-428,4	34,6	-367,6	-415,9
			Mineralwolle (Boden)	2,00	85,00	0,04							
			OSB-Platte	1,80	600,00	0,13							
			Konstruktionsvollholz	2,00	492,92	0,13							
			Luftschicht, ruhend	13,50	-	0,81							
			Zellulosefaser- Einblasdämmung	4,50	45,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
			GKF-Platte	1,25	800,00	0,25							
			Lattung	0,58	484,51	0,13							
Mineralwolle (Innenausbau)	5,42	26,25	0,04										
GKF-Platte	1,25	800,00	0,25										

CFL wood _uh _10	2002- 2015	x x	Estrich	7,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion CFLwood_6; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung	117,2	647,0	707,9	89,0	122,5	710,0
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	3,00	160,00	0,04							
			OSB-Platte	1,80	650,00	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	9,90	160,00	0,04							
			Luftschicht, ruhend	8,10	-	0,49							
			Trockenestrich	2,50	800,00	0,25							
			Mineralwolle (Boden)	2,00	85,00	0,04							
			OSB-Platte	1,80	600,00	0,13							
			Konstruktionsvollholz	2,00	492,92	0,13							
			Luftschicht, ruhend	13,50	-	0,81							
			Zellulosefaser- Einblasdämmung	4,50	45,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
GKF-Platte	1,25	800,00	0,25										
CFL wood _uh _11	2016- 2020	x	Trockenestrich	2,50	800,00	0,25	Grundlage Altbau- konstruktion CFLwood_7; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	58,6	36,9	-436,4	35,2	-371,9	-430,1
			Mineralwolle (Boden)	2,00	85,00	0,04							
			OSB-Platte	1,80	600,00	0,13							
			Konstruktionsvollholz	2,00	492,92	0,13							
			Luftschicht, ruhend	12,60	-	0,76							
			Zellulosefaser- Einblasdämmung	5,40	45,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
			GKF-Platte	1,25	800,00	0,25							
			Lattung	0,48	484,51	0,13							
Mineralwolle (Innenausbau)	4,52	26,25	0,04										
GKF-Platte	1,25	800,00	0,25										
CFL wood _uh _12	2016- 2020	x	Estrich	7,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion CFLwood_7; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung	118,1	647,0	707,9	89,6	118,7	705,1
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	3,00	160,00	0,04							
			OSB-Platte	1,80	650,00	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	9,90	160,00	0,04							
			Luftschicht, ruhend	8,10	-	0,49							
			Trockenestrich	2,50	800,00	0,25							
			Mineralwolle (Boden)	2,00	85,00	0,04							
			OSB-Platte	1,80	600,00	0,13							
			Konstruktionsvollholz	2,00	492,92	0,13							
			Luftschicht, ruhend	12,60	-	0,76							
			Zellulosefaser- Einblasdämmung	5,40	45,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
GKF-Platte	1,25	800,00	0,25										
CFL wood _uh _13	2002- 2015	x x	Zementestrich	7,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion CFLwood_8; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	118,4	71,7	-816,4	73,1	-709,6	-877,0
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	5,00	160,00	0,04							
			OSB-Platte	2,20	600,00	0,13							
			Brettschichtholz	6,40	507,11	0,13							
			Luftschicht, ruhend	24,00	-	1,64							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	1,60	160,00	0,04							
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
			Lattung	0,53	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	4,97	26,25	0,04							
GKF-Platte	1,25	800,00	0,25										

A.4 Bilanzierte Sanierungskonstruktionen

CFL wood _uh _14	2002- 2015	x x	Estrich	7,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion CFLwood_8; - maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung	133,8	1054,2	1658,4	83,7	155,9	1588,1
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	3,00	160,00	0,04							
			OSB-Platte	1,80	650,00	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	9,60	160,00	0,04							
			Luftschicht, ruhend	16,00	-	1,09							
			Zementestrich	7,50	2400,00	1,40							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	5,00	160,00	0,04							
			OSB-Platte	2,20	600,00	0,13							
			Brettschichtholz	6,40	507,11	0,13							
			Luftschicht, ruhend	24,00	-	1,64							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	1,60	160,00	0,04							
OSB-Platte	1,50	600,00	0,13										
Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35										
<hr/>													
CFL wood _uh _15	2016- 2020	x	Zementestrich	7,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion CFLwood_9; - minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	120,6	66,3	-824,4	75,0	-722,4	-902,1
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	5,00	160,00	0,04							
			OSB-Platte	2,20	600,00	0,13							
			Brettschichtholz	6,40	507,11	0,13							
			Luftschicht, ruhend	23,20	-	1,58							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	2,40	160,00	0,04							
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
			Lattung	0,43	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	4,07	26,25	0,04							
GKF-Platte	1,25	800,00	0,25										
<hr/>													
CFL wood _uh _16	2016- 2020	x	Estrich	7,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion CFLwood_9; - maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung	136,5	1054,2	1658,5	85,6	143,7	1572,4
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	3,00	160,00	0,04							
			OSB-Platte	1,80	650,00	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	9,60	160,00	0,04							
			Luftschicht, ruhend	16,00	-	1,09							
			Zementestrich	7,50	2400,00	1,40							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	5,00	160,00	0,04							
			OSB-Platte	2,20	600,00	0,13							
			Brettschichtholz	6,40	507,11	0,13							
			Luftschicht, ruhend	23,20	-	1,58							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	2,40	160,00	0,04							
OSB-Platte	1,50	600,00	0,13										
Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35										
<hr/>													
CFL wood _uh _17	2002- 2015	x x	Trockenestrich	2,50	800,00	0,25	Grundlage Altbau- konstruktion CFLwood_10; - minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	116,7	52,7	-1064,0	65,0	-727,6	-910,6
			Mineralwolle (Boden)	2,00	85,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Schüttung, Porenbetongranulat	4,00	400,00	0,09							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Brettsperrholz	14,00	489,41	0,13							
			GKF-Platte	1,25	800,00	0,25							
			Lattung	0,58	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	5,42	26,25	0,04							
GKF-Platte	1,25	800,00	0,25										
<hr/>													
CFL wood _uh _18	2002- 2015	x x	Trockenestrich	2,50	800,00	0,25	Grundlage Altbau- konstruktion CFLwood_10; - maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung	130,1	248,4	-632,1	73,0	-624,6	-594,2
			Mineralwolle (Boden)	2,00	85,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Schüttung, Porenbetongranulat	4,00	400,00	0,09							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Brettsperrholz	14,00	489,41	0,13							
			GKF-Platte	1,25	800,00	0,25							
			Lattung	0,62	484,51	0,13							
Holzfaserdämmung (Innenausbau)	5,88	160,00	0,04										
Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35										

CFL wood _uh _19	2016- 2020	x	Trockenestrich	2,50	800,00	0,25	Grundlage Altbau- konstruktion CFLwood_11; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	116,1	45,6	-1074,8	64,9	-727,4	-923,6
			Mineralwolle (Boden)	3,00	85,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Schüttung, Porenbetongranulat	4,00	400,00	0,09							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Brettspertholz	14,00	489,41	0,13							
			GKF-Platte	1,25	800,00	0,25							
			Lattung	0,43	484,51	0,13							
Mineralwolle (Innenausbau)	4,07	26,25	0,04										
GKF-Platte	1,25	800,00	0,25										
CFL wood _uh _20	2016- 2020	x	Trockenestrich	2,50	800,00	0,25	Grundlage Altbau- konstruktion CFLwood_11; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung	128,0	223,6	-709,2	72,6	-621,4	-646,6
			Mineralwolle (Boden)	3,00	85,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Schüttung, Porenbetongranulat	4,00	400,00	0,09							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Brettspertholz	14,00	489,41	0,13							
			GKF-Platte	1,25	800,00	0,25							
			Lattung	0,48	484,51	0,13							
Holzfaserdämmung (Innenausbau)	4,52	160,00	0,04										
Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35										
CFL wood _uh _21	2002- 2015	x x	Zementestrich	7,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion - CFLwood_12; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	204,9	80,2	-1860,9	116,7	-1259,9	-1641,2
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	2,00	160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Brettspertholz	24,00	489,41	0,13							
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
			Lattung	0,48	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	4,52	26,25	0,04							
GKF-Platte	1,25	800,00	0,25										
CFL wood _uh _22	2002- 2015	x x	Zementestrich	7,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion - CFLwood_12; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung	217,3	264,1	-1473,2	124,5	-1154,9	-1351,2
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	2,00	160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Brettspertholz	24,00	489,41	0,13							
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
			Lattung	0,53	484,51	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	4,97	160,00	0,04							
Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35										
CFL wood _uh _23	2016- 2020	x	Zementestrich	7,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion - CFLwood_13; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung	206,4	77,5	-1864,8	117,9	-1267,9	-1655,8
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	2,50	160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Brettspertholz	24,00	489,41	0,13							
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
			Lattung	0,43	484,51	0,13							
			Mineralwolle (Innenausbau)	4,07	26,25	0,04							
GKF-Platte	1,25	800,00	0,25										
CFL wood _uh _24	2016- 2020	x	Zementestrich	7,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion - CFLwood_13; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung	218,3	255,4	-1499,2	125,6	-1161,8	-1378,8
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	2,50	160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Brettspertholz	24,00	489,41	0,13							
			Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35							
			Lattung	0,48	484,51	0,13							
			Holzfaserdämmung (Innenausbau)	4,52	160,00	0,04							
Gipsfaserplatte	2,50	1000,00	0,35										

A.4 Bilanzierte Sanierungskonstruktionen

BP _h _1	bis 1948	x x	Dielung/Bretterboden	2,50	488,33	0,21	Grundlage Altbaukonstruktion BP_1; minimale Umweltwirkungen mit Mineralwolle- und Polystyrolämmung; Abdichtung nach DIN 18533, Wassereinwirkungsklasse W.1-E	240,6	1057,5	-348,5	162,8	7,5	-225,0
			Holzbalken	16,00	492,92	0,14							
			Luftschicht, ruhend	16,00	-	-							
			Estrich	5,00	2400,00	1,40							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Mineralwolle (Boden)	5,00	85,00	0,04							
			Bitumenabdichtung	0,45	85,00	-							
			Stahlbeton C20/25 (99/1)	15,00	2300,00	2,30							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (BO)	9,00	32,00	0,04							
BP _h _2	bis 1948	x x	Dielung/Bretterboden	2,50	488,33	0,21	Grundlage Altbaukonstruktion BP_1; maximale Umweltwirkungen mit Holzfaser- und Polystyrolämmung; Ausführung als weiße Wanne	318,6	1580,3	447,3	233,2	418,6	425,2
			Holzbalken	16,00	492,92	0,14							
			Luftschicht, ruhend	16,00	-	-							
			Estrich	7,50	2400,00	1,40							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	3,00	160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Stahlbeton C25/30 (98/2)	30,00	2400,00	2,50							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (BO)	11,00	32,00	0,04							
BP _h _3	1919- 1948	x	Kies unter Bodenplatte	15,00	1850,00	-	Grundlage Altbaukonstruktion BP_2; minimale Umweltwirkungen mit Mineralwollendämmung	48,9	507,4	594,8	45,1	457,2	527,9
			Estrich	5,00	2400,00	1,40							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Mineralwolle (Boden)	15,00	85,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Verbundestrich	6,00	2400,00	1,40							
BP _h _4	1919- 1948	x	Beton B5-B20	16,00	2400,00	1,51	Grundlage Altbaukonstruktion BP_2; maximale Umweltwirkungen mit Holzfaser- und Polystyrolämmung; Ausführung als weiße Wanne	172,2	1614,4	2055,1	153,2	1345,8	1703,3
			Verbundestrich	6,00	2400,00	1,40							
			Estrich	7,50	2400,00	1,40							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	3,00	160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
BP _h _5	1949- 1957	x	Stahlbeton C25/30 (98/2)	30,00	2400,00	2,50	Grundlage Altbaukonstruktion BP_3; minimale Umweltwirkungen mit Mineralwollendämmung; Abdichtung nach DIN 18533, Wassereinwirkungsklasse W.1-E	55,4	749,9	853,7	50,9	694,4	780,2
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Mineralwolle (Boden)	15,00	85,00	0,04							
			Bitumenabdichtung	0,45	529,00	-							
			Betondecke (97/3)	15,00	2400,00	1,51							
			Estrich	5,00	2400,00	1,40							
BP _h _6	1949- 1957	x	Dämmung BO (unspezifisch)	1,00	30-200	0,09	Grundlage Altbaukonstruktion BP_3; maximale Umweltwirkungen mit Holzfaser- und Polystyrolämmung; Ausführung als weiße Wanne	174,9	1608,0	2047,8	155,1	1331,4	1685,8
			Betondecke (97/3)	15,00	2400,00	1,51							
			Estrich	7,50	2400,00	1,40							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	3,00	160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Stahlbeton C25/30 (98/2)	30,00	2400,00	2,50							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Polystyrolämmung, XPS (BO)	11,00	32,00	0,04							
			Kies unter Bodenplatte	15,00	1850,00	-							

BP	1958-																	
BP	1958-		x															
BP	1958-			x														
BP	1958-																	
BP	1958-	1968																
BP	1958-		x															
BP	1958-			x														
BP	1958-	1968																
BP	1958-																	
BP	1969-		x															
BP	1969-			x														
BP	1969-	1978																
BP	1969-			x														
BP	1969-																	
BP	1969-	1978																
BP	1870-		x	x	x	x	x											
BP	1870-			x	x	x	x											
BP	1870-	1978																
BP	1870-		x	x	x	x	x											
BP	1870-			x	x	x	x											
BP	1870-	1978																

A.4 Bilanzierte Sanierungskonstruktionen

BP _h _13	1870- 1918	x	Ziegelpflaster	8,00	1850,00	k.A.	Grundlage Alt- baukonstruktion BP_7; minimale Umweltwirkun- gen mit Mineral- wollendämmung; Abdichtung nach DIN 18533, Was- sereinwirkungs- klasse W.1-E	53,5	775,5	881,0	50,4	734,2	826,5
			Estrich	5,00	2400,00	1,40							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Mineralwolle (Boden)	15,00	85,00	0,04							
			Bitumenabdichtung	0,45	529,00	-							
			Stampfbeton B5-B20	10,00	2400,00	2,00							
			Kies unter Bodenplatte	15,00	1850,00	-							
BP _h _14	1870- 1918	x	Ziegelpflaster	8,00	1850,00	k.A.	Grundlage Altbau- konstruktion BP_7; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- und Polystyrol-däm- mung; Ausführung als weiße Wanne	161,8	1449,3	1883,2	143,9	1194,5	1550,0
			Stampfbeton B5-B20	10,00	2400,00	2,00							
			Estrich	7,50	2400,00	1,40							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	3,00	160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Stahlbeton C25/30 (98/2)	30,00	2400,00	2,50							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Polystyrol-dämmung, XPS (BO)	11,00	32,00	0,04							
			Kies unter Bodenplatte	15,00	1850,00	-							
BP _h _15	1949- 1994	x x x x x	Estrich	5,00	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion BP_8; minimale Umweltwirkun- gen mit Mineral- wollendämmung; Abdichtung nach DIN 18533, Was- sereinwirkungs- klasse W.1-E	53,4	772,2	877,6	50,5	733,9	826,9
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Mineralwolle (Boden)	15,00	85,00	0,04							
			Bitumenabdichtung	0,45	529,00	-							
			Estrich	3,50	2400,00	1,40							
			Stampfbeton B5-B20	10,00	2400,00	2,00							
			Kies unter Bodenplatte	15,00	1850,00	-							
BP _h _16	1949- 1994	x x x x x	Estrich	3,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion BP_8; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- und Polystyrol-däm- mung; Ausführung als weiße Wanne	161,7	1445,9	1879,7	144,0	1194,2	1550,3
			Stampfbeton B5-B20	10,00	2400,00	2,00							
			Estrich	7,50	2400,00	1,40							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	3,00	160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Stahlbeton C25/30 (98/2)	30,00	2400,00	2,50							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Polystyrol-dämmung, XPS (BO)	11,00	32,00	0,04							
			Kies unter Bodenplatte	15,00	1850,00	-							
BP _h _17	1979- 1990	x x	Estrich	5,00	2400,00	1,40	Grundlage Alt- baukonstruktion BP_10; minimale Umweltwirkun- gen mit Mineral- wollendämmung; Abdichtung nach DIN 18533, Was- sereinwirkungs- klasse W.1-E	57,2	821,7	942,0	35,9	543,4	570,5
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Mineralwolle (Boden)	14,00	85,00	0,04							
			Bitumenabdichtung	0,45	529,00	-							
			Estrich	3,50	2400,00	1,40							
			Stahlbeton B15-B25 (96/4)	100,00	2400,00	2,50							
			Kies unter Bodenplatte	15,00	1850,00	-							
BP _h _18	1979- 1990	x x	Estrich	7,50	2400,00	1,40	Grundlage Alt- baukonstruktion BP_10; maximale Umweltwirkun- gen mit Holzfas- erdämmung; Auf Grund der be- reits bestehen- den dicken Stahl- betonschicht wird kein Austausch und Ersatz durch eine weiße Wanne angenom- men, sondern eine Abdichtung nach DIN 18533 gewählt	86,0	1582,5	2307,7	37,8	848,5	1676,0
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			OSB-Platte	1,50	600,00	0,13							
			Holzfaserdämmung (TSD)	14,82	160,00	0,04							
			Holzbalken	2,18	529,00	0,13							
			Bitumenbahn	1,00	1000,00	-							
			Estrich	3,50	2400,00	1,40							
			Stahlbeton B15-B25 (96/4)	100,00	2400,00	2,50							
			Kies unter Bodenplatte	15,00	1850,00	-							
			BP _h _19	1961- 1990	x x x x	Estrich							
PE-Folie Decke	0,02	930,00				-							
Mineralwolle (Boden)	15,00	85,00				0,04							
Bitumenabdichtung	0,45	529,00				-							
Estrich	3,50	2400,00				1,40							
Stampfbeton B5-B20	10,00	2400,00				2,00							
Kies unter Bodenplatte	15,00	1850,00				-							

BP _h _20	1961- 1990	x x x x	Estrich	3,50	2400,00		Grundlage Altbau- konstruktion BP_12; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- und Polystyrol-däm- mung; Ausführung als weiße Wanne	161,7	1445,9	1879,7	144,0	1194,2	1550,3							
			Stampfbeton B5-B20	10,00	2400,00	2,00														
			Estrich	7,50	2400,00	1,40														
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-														
			Holzfaserdämmung (TSD)	3,00	160,00	0,04														
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-														
			Stahlbeton C25/30 (98/2)	30,00	2400,00	2,50														
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-														
			Polystyrol-dämmung, XPS (BO)	11,00	32,00	0,04														
Kies unter Bodenplatte	15,00	1850,00	-																	
BP _h _21	1991- 2000	x x	Estrich	5,00	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion BP_13; minimale Umweltwirkun- gen mit Mineral- woll-dämmung; Abdichtung nach DIN 18533, Was- sereinwirkungs- klasse W.1-E	53,4	772,2	877,6	50,5	733,9	826,9							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-														
			Mineralwolle (Boden)	15,00	85,00	0,04														
			Bitumenabdichtung	0,45	529,00	-														
			Estrich	3,50	2400,00	1,40														
			Beton B5-B20	10,00	2400,00	2,00														
			Kies unter Bodenplatte	15,00	1850,00	-														
			BP _h _22	1991- 2000	x x	Estrich								3,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion BP_13; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- und Polystyrol-däm- mung; Ausführung als weiße Wanne	161,7	1445,9	1879,7
Beton B5-B20	10,00	2400,00				2,00														
Estrich	7,50	2400,00				1,40														
PE-Folie Decke	0,02	930,00				-														
Holzfaserdämmung (TSD)	3,00	160,00				0,04														
PE-Folie Decke	0,02	930,00				-														
Stahlbeton C25/30 (98/2)	30,00	2400,00				2,50														
PE-Folie Decke	0,02	930,00				-														
Polystyrol-dämmung, XPS (BO)	11,00	32,00				0,04														
Kies unter Bodenplatte	15,00	1850,00	-																	
BP _h _23	1991- 2000	x x	Estrich	3,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion BP_14; minimale Umweltwirkun- gen mit Mineral- woll-dämmung; Abdichtung nach DIN 18533, Was- sereinwirkungs- klasse W.1-E	58,5	772,7	878,2	53,2	698,2	781,0							
			PE-Folie Decke	0,20	1000,00	-														
			Estrich	5,00	2400,00	1,40														
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-														
			Mineralwolle (Boden)	15,00	85,00	0,04														
			Bitumenabdichtung	0,45	529,00	-														
			Stahlbeton B15-B25 (96/4)	10,00	2400,00	2,50														
			Kies unter Bodenplatte	15,00	1850,00	-														
BP _h _24	1991- 2000	x x	Estrich	3,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion BP_14; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- und Polystyrol-däm- mung; Ausführung als weiße Wanne	166,8	1446,5	1880,3	146,7	1158,5	1504,4							
			PE-Folie Decke	0,20	1000,00	-														
			Stahlbeton B15-B25 (96/4)	10,00	2400,00	2,50														
			Estrich	7,50	2400,00	1,40														
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-														
			Holzfaserdämmung (TSD)	3,00	160,00	0,04														
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-														
			Stahlbeton C25/30 (98/2)	30,00	2400,00	2,50														
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-														
Polystyrol-dämmung, XPS (BO)	11,00	32,00	0,04																	
Kies unter Bodenplatte	15,00	1850,00	-																	
BP _h _25	2002- 2009	x	Estrich	5,00	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion BP_19; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung; aus konstruktiven Gründen Ausbau der vorhandenen Dämmschicht	57,8	445,9	527,4	41,2	217,8	226,5							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-														
			Mineralwolle (Boden)	10,00	85,00	0,04														
			Zementestrich	7,50	2400,00	1,40														
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-														
			Holzfaserdämmung (TSD)	2,00	160,00	0,04														
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-														
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	50,00	2400,00	2,50														
			PE-Folie Bodenplatte	0,02	26,25	-														
Polystyrol-dämmung, XPS (BO)	4,50	32,00	0,04																	
Sauberkeitsschicht	5,00	2400,00	-																	

A.4 Bilanzierte Sanierungskonstruktionen

BP _h _26	2002- 2009	x	Estrich	7,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion BP_19; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung	71,8	541,7	978,6	46,3	157,1	476,2
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	10,00	160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Zementestrich	7,50	2400,00	1,40							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	2,00	160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	50,00	2400,00	2,50							
			PE-Folie Bodenplatte	0,02	26,25	-							
Polystyrolämmung, XPS (BO)	4,50	32,00	0,04										
Sauberkeitsschicht	5,00	2400,00	-										
BP _h _27	2010- 2015	x	Estrich	5,00	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion BP_20; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung; aus konstruktiven Gründen Ausbau der vorhandenen Dämmschicht	57,4	409,8	485,8	39,9	167,3	166,2
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Mineralwolle (Boden)	8,00	85,00	0,04							
			Zementestrich	7,50	2400,00	1,40							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	2,00	160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	50,00	2400,00	2,50							
			PE-Folie Bodenplatte	0,02	26,25	-							
			Polystyrolämmung, XPS (BO)	6,50	32,00	0,04							
Sauberkeitsschicht	5,00	2400,00	-										
BP _h _28	2010- 2015	x	Estrich	7,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion BP_20; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung	71,1	505,6	869,5	46,4	137,2	388,0
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	8,00	160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Zementestrich	7,50	2400,00	1,40							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	2,00	160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	50,00	2400,00	2,50							
			PE-Folie Bodenplatte	0,02	26,25	-							
Polystyrolämmung, XPS (BO)	6,50	32,00	0,04										
Sauberkeitsschicht	5,00	2400,00	-										
BP _h _29	2016- 2020	x	Estrich	5,00	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion BP_21; minimale Umwelt- wirkungen mit Mineralwolle- dämmung; aus konstruktiven Gründen Ausbau der vorhandenen Dämmschicht	57,8	391,9	465,0	39,5	138,5	131,5
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Mineralwolle (Boden)	7,00	85,00	0,04							
			Zementestrich	7,50	2400,00	1,40							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	2,00	160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	50,00	2400,00	2,50							
			PE-Folie Bodenplatte	0,02	26,25	-							
			Polystyrolämmung, XPS (BO)	8,00	32,00	0,04							
Sauberkeitsschicht	5,00	2400,00	-										
BP _h _30	2016- 2020	x	Estrich	7,50	2400,00	1,40	Grundlage Altbau- konstruktion BP_21; maximale Umwelt- wirkungen mit Holzfaser- dämmung	71,4	487,6	815,0	46,8	123,7	339,4
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	7,00	160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Zementestrich	7,50	2400,00	1,40							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	2,00	160,00	0,04							
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Stahlbeton C30/37 (98/2)	50,00	2400,00	2,50							
			PE-Folie Bodenplatte	0,02	26,25	-							
Polystyrolämmung, XPS (BO)	8,00	32,00	0,04										
Sauberkeitsschicht	5,00	2400,00	-										

BP _h _31	2002- 2020	x x x	Estrich	5,00	2400,00	1,40	50,4	499,9	587,7	43,9	412,5	473,6	
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Mineralwolle (Boden)	15,00	85,00	0,04							- Grundlage Altbau- konstruktion
			Zementestrich	5,00	2400,00	-							BP_22; minimale Umwelt-
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							wirkungen mit Mineralwolle-
			Polystyrolämmung Decke und Boden, EPS, WLS 040	2,00	18,50	-							dämmung; aus konstruktiven
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							Gründen Ausbau der vorhandenen
			Stahlbeton C20/25 (99/1)	20,00	2400,00	2,30							Dämmschicht
			Sauberkeitsschicht	5,00	2400,00	-							
BP _h _32	2002- 2020	x x x	Estrich	7,50	2400,00	1,40	66,0	605,2	1235,0	45,5	276,7	810,8	
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Holzfaserdämmung (TSD)	15,50	160,00	0,04							- Grundlage Altbau- konstruktion
			Zementestrich	5,00	2400,00	-							BP_22; maximale Umwelt-
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							wirkungen mit Holzfaser-
			Polystyrolämmung Decke und Boden, EPS, WLS 040	2,00	18,50	-							dämmung
			PE-Folie Decke	0,02	930,00	-							
			Stahlbeton C20/25 (99/1)	20,00	2400,00	2,30							
			Sauberkeitsschicht	5,00	2400,00	-							

Bauteilaufbauten – Erklärung Farbschema:

Bauteilschichten, die bei der Sanierung neu eingebaut und für 50 Jahre genutzt werden

Bestehende Bauteilschichten, die bei der Sanierung ausgebaut werden

Bestehende Bauteilschichten, die bei der Sanierung erhalten und für 50 Jahre weitergenutzt werden

A.5 Übersicht zu den verwendeten Datensätzen je Material

Nachfolgend findet sich in Tabelle A. 9 und Tabelle A. 10 eine Übersicht aller verwendeter Datensätze der ÖKOBAUDAT 2020-II, die für die Bilanzierung der Baukonstruktionen je LZPH herangezogen werden. Ebenfalls ausgewiesen sind die Bezugseinheiten (Volumen [m³], Fläche [m²], Gewicht [kg; t], Länge [m], Stück [Stk.]) der Umweltwirkungen. Die maßgebenden Bezugseinheiten je Material sind fett markiert. Tabelle A. 10 sind zudem je Materialbezeichnung die durchschnittlichen Nutzungsdauern in Jahren sowie die daraus resultierenden Austauschzyklen innerhalb von 50 Jahren zu entnehmen.

Tabelle A. 9: Materialspezifisch verwendete ÖKOBAUDAT-Datensätze (Version 2020-II) und Umweltwirkungen der LZPH A1-A3, C3 und C4; eigene Darstellung

Materialbezeichnung	Datensatz A1-A3	Bezugseinheiten	GWP A1-A3 [kg CO ₂ -Äq.]	PENRT A1-A3 [MJ]	PET A1-A3 [MJ]	Datensatz C3	Bezugseinheit	GWP C3 [kg CO ₂ -Äq.]	PENRT C3 [MJ]	PET C3 [MJ]	Datensatz C4	Bezugseinheiten	GWP C4 [kg CO ₂ -Äq.]	PENRT C4 [MJ]	PET C4 [MJ]
Aluminium-Blendrahmen	7.1.05 Aluminium-Rahmenprofil, pulverbeschichtet	m (1,02 kg/m)	13,1	179,9	232,8	-	-	0,0	0,0	0,0	-	-	0,0	0,0	0,0
Aluminium-Flügelrahmen	7.1.05 Aluminium-Flügelrahmenprofil, pulverbeschichtet	m (0,98 kg/m)	12,5	172,8	223,6	-	-	0,0	0,0	0,0	-	-	0,0	0,0	0,0
Aluminium-Blendrahmen, thermisch getrennt	7.1.06 Aluminium-Rahmenprofil, thermisch getrennt, pulverbeschichtet	m (1,43 kg/m)	15,8	224,2	283,7	7.1.06 Aluminium-Rahmenprofil, thermisch getrennt, pulverbeschichtet	m (1,43 kg/m)	0,7	0,4	0,4	-	-	0,0	0,0	0,0
Aluminium-Flügelrahmen, thermisch getrennt	7.1.06 Aluminium-Flügelrahmenprofil, thermisch getrennt, pulverbeschichtet	m (1,51 kg/m)	17,1	240,7	306,4	7.1.06 Aluminium-Flügelrahmenprofil, thermisch getrennt, pulverbeschichtet	m (1,51 kg/m)	0,6	0,3	0,3	-	-	0,0	0,0	0,0
Asbestzementplatte	1.3.12 Faserzementplatte	m ² (13 kg/m ² ; 1.300 kg/m ³); m ³	699,3	7.695,6	12.596,5	-	-	0,0	0,0	0,0	1.3.12 Faserzementplatte	m ² (13 kg/m ² ; 1300 kg/m ³); m ³	19,5	284,7	322,1
Ausgleichsestrich	1.4.03 Zementestrich	kg (2.400 kg/m ³); m ³	440,5	2.901,4	3.547,4	-	-	0,0	0,0	0,0	1.4.03 Zementestrich	kg (2.400 kg/m ³); m ³	36,0	525,7	594,7
Außenputz	1.4.04 Kalkzement Putzmörtel (de)	m ³ (1.800 kg/m ³)	356,6	2.157,8	3.268,8	-	-	0,0	0,0	0,0	1.4.04 Kalkzement Putzmörtel (de)	m ³ (1.800 kg/m ³)	27,0	394,2	446,0
Außenputz, nach Sanierung innenliegend	1.4.04 Kalkzement Putzmörtel (de)	m ³ (1.800 kg/m ³)	356,6	2.157,8	3.268,8	-	-	0,0	0,0	0,0	1.4.04 Kalkzement Putzmörtel (de)	m ³ (1.800 kg/m ³)	27,0	394,2	446,0
Beton B5-B20	1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	m ³ (2.400 kg/m ³)	178,0	912,0	1.092,0	1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	m ³ (2.400 kg/m ³)	6,0	78,7	99,4	-	-	0,0	0,0	0,0
Betonfertigteile B20	1.3.05 Betonfertigteile Decke 20 cm	m ² (504 kg/m ² mit 2.520 kg/m ³); m ³	422,4	2.412,9	3.111,1	1.3.05 Betonfertigteile Decke 20cm	m ² (504 kg/m ² mit 2.520 kg/m ³); m ³	17,6	292,3	323,8	-	-	0,0	0,0	0,0
Betondachstein	1.3.10 Dachsteine	t (2.150 kg/m ³); m ³	449,4	2.902,5	3.242,2	100.1.01 Bauschutttaufbereitung	kg; m ³	5,7	110,9	120,7	-	-	0,0	0,0	0,0
Betondecke (99/1)	99% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; 1% 4.1.02 Bewehrungsstahl	m ³ (2.400 kg/m ³); kg (7.850 kg/m ³)	229,9	1.593,6	2.069,2	99% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; -	m ³ (2.400 kg/m ³)	5,9	77,9	98,4	-	-	0,0	0,0	0,0
Betondecke (97/3)	97% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; 3% 4.1.02 Bewehrungsstahl	m ³ (2.400 kg/m ³); kg (7.850 kg/m ³)	333,6	2.956,8	4.023,6	97% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	m ³ (2.400 kg/m ³)	5,8	76,3	96,4	-	-	0,0	0,0	0,0
Bewehrungsstahl	4.1.02 Bewehrungsstahl	kg (7.850 kg/m ³); m ³	5.364,3	69.073,0	98.812,7	-	-	0,0	0,0	0,0	-	-	0,0	0,0	0,0

A.5 Übersicht zu den verwendeten Datensätzen je Material

Bimshohlblockstein	75% 1.3.04 Bims-Planstein (SFK-4); 25% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (900 kg/m³); m³ (2.000 kg/m³)	144,8	641,0	792,2	75% 1.3.04 Bims-Planstein (SFK-4)	m³ (900 kg/m³)	5,0	82,2	91,1	25% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (2.000 kg/m³)	7,3	106,9	121,0
Bimsvollsteine	75% 1.3.04 Bims-Planstein (SFK-4); 25% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (900 kg/m³); m³ (2000 kg/m³)	144,8	641,0	792,2	75% 1.3.04 Bims-Planstein (SFK-4)	m³ (900 kg/m³)	5,0	82,2	91,1	25% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (2.000 kg/m³)	7,3	106,9	121,0
Bitumenabdichtung	6.7.04 Bitumen Emulsion	kg (1.100 kg/m³); m³	392,0	27.216,1	29.118,6	-	-	0,0	0,0	0,0	6.7.04 Bitumen Emulsion	kg (1.100 kg/m³); m³	94,5	1483,8	1588,1
Bitumenbahn	6.3.01 Bitumenbahnen V60 (Dicke 0,005 m)	m² (5 kg/m²; 1.000 kg/m³); m³	407,9	37.126,6	37.976,7	-	-	0,0	0,0	0,0	6.3.01 Bitumenbahnen V60 (Dicke 0,005 m)	m² (5 kg/m²; 1.000 kg/m³); m³	79,3	1.245,2	1.332,7
Bitumenbahn, Decke	6.3.01 Bitumenbahnen V60 (Dicke 0,005 m)	m² (5 kg/m²; 1.000 kg/m³); m³	407,9	37.126,6	37.976,7	-	-	0,0	0,0	0,0	6.3.01 Bitumenbahnen V60 (Dicke 0,005 m)	m² (5 kg/m²; 1.000 kg/m³); m³	79,3	1.245,2	1.332,7
Bitumendachbahn, besandet	6.3.01 Bitumenbahnen V60 (Dicke 0,005 m)	m² (5 kg/m²; 1.000 kg/m³); m³	407,9	37.126,6	37.976,7	-	-	0,0	0,0	0,0	6.3.01 Bitumenbahnen V60 (Dicke 0,005 m)	m² (5 kg/m²; 1.000 kg/m³); m³	79,3	1.245,2	1.332,7
Bitumendachbahn	6.3.01 Bitumenbahnen V60 (Dicke 0,005 m)	m² (5 kg/m²; 1.000 kg/m³); m³	407,9	37.126,6	37.976,7	-	-	0,0	0,0	0,0	6.3.01 Bitumenbahnen V60 (Dicke 0,005 m)	m² (5 kg/m²; 1.000 kg/m³); m³	79,3	1.245,2	1.332,7
Bitumendachpappe	6.3.01 Bitumenbahnen V60 (Dicke 0,005 m)	m² (5 kg/m²; 1.000 kg/m³); m³	407,9	37.126,6	37.976,7	-	-	0,0	0,0	0,0	6.3.01 Bitumenbahnen V60 (Dicke 0,005 m)	m² (5 kg/m²; 1.000 kg/m³); m³	79,3	1.245,2	1.332,7
Blecheindeckung (Edelstahl)	4.2.01 Edelstahlbleche	kg (7.900 kg/m³); m³	27.075,4	346.116,4	419.805,8	-	-	0,0	0,0	0,0	100.1.04 End of Life von Edelstahl	kg; m³	5,4	78,7	89,0
Bretter	3.1.01 Nadelnschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE)	m³ (484,51 kg/m³)	-735,1	724,6	10.994,9	3.1.01 Nadelnschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE)	m³ (484,51 kg/m³)	797,1	58,8	-8.285,9	-	-	0,0	0,0	0,0
Brettschichtholz	3.1.04 Brettschichtholz - Standardformen (Durchschnitt DE)	m³ (507,11 kg/m³)	-668,0	2.034,2	13.429,7	3.1.04 Brettschichtholz - Standardformen (Durchschnitt DE)	m³ (507,11 kg/m³)	819,7	-29,2	-8.613,8	-	-	0,0	0,0	0,0
Brettsperrholz	3.1.05 Brettsperrholz (Durchschnitt DE)	m³ (489,41 kg/m³)	-637,7	2.090,1	12.713,8	3.1.05 Brettsperrholz (Durchschnitt DE)	m³ (489,41 kg/m³)	792,8	-16,7	-8.282,3	-	-	0,0	0,0	0,0
Dielung/ Bretterboden	3.1.01 Nadelnschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE)	m³ (484,51 kg/m³)	-735,1	724,6	10.994,9	3.1.01 Nadelnschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE)	m³ (484,51 kg/m³)	797,1	58,8	-8.285,9	-	-	0,0	0,0	0,0
Bruchsteinmauerwerk Fundament	80% 1.2.02 Schotter 16/32; 20% 1.4.02 Zementmörtel	kg (1.400 kg/m³); m³ (2.000 kg/m³)	85,5	443,4	607,9	80% 1.2.02 Schotter 16/32	kg (1.400 kg/m³); m³	7,5	125,1	138,6	20% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (2.000 kg/m³)	5,9	85,5	96,8
Dachabdichtung, wurzelfest	6.3.01 Bitumenbahnen PYE-PV 200 S5 ns (geschiefert)	m² (6,2 kg/m²; 1.550 kg/m³); m³	1.341,0	64.553,5	66.920,5	6.3.01 Bitumenbahnen PYE-PV 200 S5 ns (geschiefert)	m² (6,2 kg/m²; 1.550 kg/m³); m³	0,0	0,0	0,0	6.3.01 Bitumenbahnen PYE-PV 200 S5 ns (geschiefert)	m² (6,2 kg/m²; 1.550 kg/m³); m³	123,0	1.930,0	2.065,6

Dachziegel	1.3.10 Dachziegel	m ² (45 kg/m ² mit 2.180 kg/m ³); m ³	769,2	12.056,7	13.090,7	1.3.10 Dachziegel	m ² (45 kg/m ² mit 2.180 kg/m ³); m ³	14,7	243,5	269,7	-	-	0,0	0,0	0,0
Dachziegel (Biberschwanz; ca. 70 kg/m ²)	1.3.10 Dachziegel	m ² (45 kg/m ² mit 2.180 kg/m ³); m ³	769,2	12.056,7	13.090,7	1.3.10 Dachziegel	m ² (45 kg/m ² mit 2.180 kg/m ³); m ³	14,7	243,5	269,7	-	-	0,0	0,0	0,0
Dämmung AW (Holzwolle-WDVS)	2.7.01 Holzwolle-Leichtbauplatte	m ³ (360 kg/m ³)	-29,4	2.101,3	5.254,3	2.7.01 Holzwolle-Leichtbauplatte	m ³ (360 kg/m ³)	317,5	8,3	13,0	-	-	0,0	0,0	0,0
Dämmung AW (Holzwolle-VF)	2.7.01 Holzwolle-Leichtbauplatte	m ³ (360 kg/m ³)	-29,4	2.101,3	5.254,3	2.7.01 Holzwolle-Leichtbauplatte	m ³ (360 kg/m ³)	317,5	8,3	13,0	-	-	0,0	0,0	0,0
Dämmputz	1.4.04 Kalkzement Putzmörtel (de)	m ³ (1.800 kg/m ³)	356,6	2.157,8	3.268,8	-	-	0,0	0,0	0,0	1.4.04 Kalkzement Putzmörtel (de)	m ³ (1.800 kg/m ³)	27,0	394,2	446,0
Dämmung BO (un-spezifisch)	2.7.01 Holzwolle-Leichtbauplatte	m ³ (360 kg/m ³)	-29,4	2.101,3	5.254,3	2.7.01 Holzwolle-Leichtbauplatte	m ³ (360 kg/m ³)	317,5	8,3	13,0	-	-	0,0	0,0	0,0
Dämmung Flachdach (EPS)	2.2.01 EPS-Hartschaum (Styropor®) für Decken/Böden und als Perimeterdämmung B/P-040	m ³ (18,5 kg/m ³)	53,8	1.590,0	1.612,7	-	-	0,0	0,0	0,0	2.2.01 EPS-Hartschaum (Styropor®) für Decken/Böden und als Perimeterdämmung B/P-040	m ³ (18,5 kg/m ³)	61,0	7,8	8,5
Dämmung KD, ältere BK	2.7.01 Holzwolle-Leichtbauplatte	m ³ (360 kg/m ³)	-29,4	2.101,3	5.254,3	2.7.01 Holzwolle-Leichtbauplatte	m ³ (360 kg/m ³)	317,5	8,3	13,0	-	-	0,0	0,0	0,0
Dämmung KD, jüngere BK	64% 2.1.01 Mineralwolle (Boden-Dämmung); 31% 2.2.01 EPS-Hartschaum (Styropor®) für Decken/Böden und als Perimeterdämmung B/P-040; 5% 2.10.01 Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)	m ³ (85 kg/m ³); m ³ (18,5 kg/m ³); m ³ (160 kg/m ³)	93,3	1.682,0	2.050,2	64% 2.1.01 Mineralwolle (Boden-Dämmung); 5% 2.10.01 Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)	m ³ (85 kg/m ³); m ³ (160 kg/m ³)	18,2	54,6	57,1	64% 2.1.01 Mineralwolle (Boden-Dämmung); 31% 2.2.01 EPS-Hartschaum (Styropor®) für Decken/Böden und als Perimeterdämmung B/P-040	m ³ (85 kg/m ³); m ³ (18,5 kg/m ³)	19,7	14,5	16,3
Dämmung DE und OGD, ältere BK	2.7.01 Holzwolle-Leichtbauplatte	m ³ (360 kg/m ³)	-29,4	2.101,3	5.254,3	2.7.01 Holzwolle-Leichtbauplatte	m ³ (360 kg/m ³)	317,5	8,3	13,0	-	-	0,0	0,0	0,0
Dämmung DE und OGD, jüngere BK	64% 2.1.01 Mineralwolle (Boden-Dämmung); 31% 2.2.01 EPS-Hartschaum (Styropor®) für Decken/Böden und als Perimeterdämmung B/P-040; 5% 2.10.01 Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)	m ³ (85 kg/m ³); m ³ (18,5 kg/m ³); m ³ (160 kg/m ³)	93,3	1.682,0	2.050,2	64% 2.1.01 Mineralwolle (Boden-Dämmung); 5% 2.10.01 Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)	m ³ (85 kg/m ³); m ³ (160 kg/m ³)	18,2	54,6	57,1	64% 2.1.01 Mineralwolle (Boden-Dämmung); 31% 2.2.01 EPS-Hartschaum (Styropor®) für Decken/Böden und als Perimeterdämmung B/P-040	m ³ (85 kg/m ³); m ³ (18,5 kg/m ³)	19,7	14,5	16,3
Deckenziegel (Zwischenraum mit Beton verfüllt)	69% 1.3.02 Mauerziegel; 30% 1.4.02 Zementmörtel; 1% 4.1.02 Bewehrungsstahl	m ³ (575 kg/m ³); m ³ (2.000 kg/m ³); kg (7.850 kg/m ³)	252,6	1.932,1	2.487,8	69% 1.3.02 Mauerziegel	m ³ (575 kg/m ³)	-6,9	19,5	20,6	69% 1.3.02 Mauerziegel; 30% 1.4.02 Zementmörtel	m ³ (575 kg/m ³); m ³ (2.000 kg/m ³)	9,0	131,3	148,4
Doppelrömer	1.3.10 Dachsteine	kg (2.150 kg/m ³); m ³	449,4	2.902,5	3.242,2	100.1.01 Bauschuttufbereitung	kg; m ³	5,7	110,9	120,7	-	-	0,0	0,0	0,0

A.5 Übersicht zu den verwendeten Datensätzen je Material

Drainmatte, 2.8 kg/m ²	6.6.03 PE-Noppenfolie zur Abdichtung (Dicke 0,00125 m)	m ² (1,2 kg/m ² ; 960 kg/m ³); m ³	3.271,3	94.611,2	99.038,3	6.6.03 PE-Noppenfolie zur Abdichtung (Dicke 0,00125 m)	m ² (1,2 kg/m ² ; 960 kg/m ³); m ³	3.316,3	534,6	644,5	-	-	0,0	0,0	0,0
Einfachverglasung	7.2.01 Fensterglas einfach	m ² (10 kg/m ² mit 2.500 kg/m ³)	13,3	168,3	179,0	-	-	0,0	0,0	0,0	7.2.01 Fensterglas einfach	m ² (10 kg/m ² mit 2.500 kg/m ³)	0,2	2,4	2,7
Estrich	1.4.03 Zementestrich	kg (2.400 kg/m ³); m ³	440,5	2.901,4	3.547,4	-	-	0,0	0,0	0,0	1.4.03 Zementestrich	kg (2.400 kg/m ³); m ³	36,0	525,7	594,7
Estrich (Anhydrit)	1.4.03 Calciumsulfatestrich	kg (1.500 kg/m ³); m ³	160,5	2.195,7	2.407,8	-	-	0,0	0,0	0,0	1.4.03 Calciumsulfatestrich	kg (1.500 kg/m ³); m ³	22,5	328,5	371,7
Estrichpapier	6.6.05 Kraftpapier	m ² (0,08 kg/m ² mit 800 kg/m ³); m ³	-897,3	5.888,0	34.095,0	6.6.05 Kraftpapier	m ² (0,08 kg/m ² mit 800 kg/m ³); m ³	1.620,7	18,3	28,9	-	-	0,0	0,0	0,0
Fensterbeschlag, Doppelflügel Fenster	7.4.02 Fenster-Beschlag für Doppelflügel Fenster	Stk (1,014 kg/Stk.); kg	8,6	124,2	157,7	-	-	0,0	0,0	0,0	-	-	0,0	0,0	0,0
Fensterbeschlag, Drehkipfenster	7.4.02 Fenster-Beschlag für Drehkipfenster (Aluminium)	Stk (1,014 kg/Stk.); kg	12,2	170,1	227,2	-	-	0,0	0,0	0,0	-	-	0,0	0,0	0,0
Fenstergriff	7.4.07 Fenstergriff	Stk (0,1 kg/Stk.); kg	9,6	176,6	188,9	7.4.07 Fenstergriff	Stk (0,1 kg/Stk.); kg	2,5	1,3	1,5	-	-	0,0	0,0	0,0
Filtervlies, PP	6.6.04 PE/PP-Vlies	m ² (0,5 kg/m ² ; 396 kg/m ³); m ³	998,3	35.093,7	37.250,4	6.6.04 PE/PP-Vlies	m ² (0,5 kg/m ² ; 396 kg/m ³); m ³	1492,3	240,6	290,0	-	-	0,0	0,0	0,0
Flachstahl	4.1.03 Stahlprofil	kg (7.850 kg/m ³); m ³	7.806,4	86.273,9	110.967,0	-	-	0,0	0,0	0,0	100.1.04 End of Life von Stahlprofilen	kg (7.850 kg/m ³); m ³	5,4	78,2	88,4
Flachdachdämmung (unspezifisch)	2.1.01 Mineralwolle (Flachdach-Dämmung)	m ³ (145 kg/m ³)	209,5	2.048,5	2.377,6	2.1.01 Mineralwolle (Flachdach-Dämmung)	m ³ (145 kg/m ³)	4,0	145,0	151,4	2.1.01 Mineralwolle (Flachdach-Dämmung)	m ³ (145 kg/m ³)	2,2	32,2	36,4
Fliesen	90% 1.3.07 Steinzeugfliesen unglasiert; 10% Fliesenkleber	m ² (20 kg/m ² mit 2.000 kg/m ³); kg (1.500 kg/m ³); m ³	668,7	10.303,4	11.222,8	90% 1.3.07 Steinzeugfliesen unglasiert	m ² (20 kg/m ² mit 2.000 kg/m ³); m ³	13,2	219,3	243,0	10% Fliesenkleber	kg (1.500 kg/m ³); m ³	2,5	35,8	40,5
Fugendichtungsband	7.3.04 Fugendichtungsbänder Gewebebänder	kg (0,264 g/m ² ; 339 kg/m ³)	6,6	126,7	182,6	7.3.04 Fugendichtungsbänder Gewebebänder	kg (339 kg/m ³)	2,4	0,3	0,3	-	-	0,0	0,0	0,0
Füllkörper aus Bimsstein	69% 1.3.04 Bims-Planstein (SFK-4); 30% 1.4.02 Zementmörtel; 1% 4.1.02 Bewehrungsstahl	m ³ (900 kg/m ³); m ³ (2.000 kg/m ³); kg (7.850 kg/m ³)	211,0	1.361,6	1.816,3	69% 1.3.04 Bims-Planstein (SFK-4)	m ³ (900 kg/m ³)	4,6	75,7	83,8	30% 1.4.02 Zementmörtel	m ³ (2.000 kg/m ³)	8,8	128,3	145,2

Gasbeton(block- steine)	90% 1.3.03 Porenbeton P4 05 unbewehrt; 10% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (472 kg/m ³); m³ (2.000 kg/m ³)	234,9	1.319,8	1.623,5	90% 1.3.03 Porenbeton P4 05 unbewehrt	m³ (472 kg/m ³)	2,9	47,4	52,6	10% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (2.000 kg/m ³)	2,9	42,8	48,4
Gipsfaserplatte	1.3.13 Gipsfaserplatte (Dicke 0,01 m)	m ² (1.000 kg/m ³); m³ m ² (10 kg/m ² mit 800 kg/m ³); m³ m ² (10 kg/m ² mit 800 kg/m ³); m³	318,6	4.900,9	6.822,5	1.3.13 Gipsfaserplatte (Dicke 0,01 m)	m ² (1.000 kg/m ³); m³	0,0	0,0	0,0	1.3.13 Gipsfaserplatte (Dicke 0,01 m)	m ² (1.000 kg/m ³); m³ m ² (10 kg/m ² mit 800 kg/m ³); m³ m ² (10 kg/m ² mit 800 kg/m ³); m³	15,0	219,0	247,8
Gipskartonplatte	1.3.13 Gipskartonplatte (Feuerschutz)	m ² (10 kg/m ² mit 800 kg/m ³); m³ m ² (10 kg/m ² mit 800 kg/m ³); m³	123,3	2.679,8	3.469,7	-	-	0,0	0,0	0,0	1.3.13 Gipskartonplatte (Feuerschutz)	m ² (10 kg/m ² mit 800 kg/m ³); m³ m ² (10 kg/m ² mit 800 kg/m ³); m³	12,0	175,2	198,2
GKF-Platte	1.3.13 Gipskartonplatte (Feuerschutz)	m ² (10 kg/m ² mit 800 kg/m ³); m³	123,3	2.679,8	3.469,7	-	-	0,0	0,0	0,0	1.3.13 Gipskartonplatte (Feuerschutz)	m ² (10 kg/m ² mit 800 kg/m ³); m³ m ² (0,12 kg/m ² mit 2.294 kg/m ³); m³ m ² (0,12 kg/m ² mit 2.294 kg/m ³); m³	12,0	175,2	198,2
Glasvlies Dach	6.6.04 Glasvlies	m ² (0,12 kg/m ² mit 229,4 kg/m ³); m³ m ² (0,12 kg/m ² mit 229,4 kg/m ³); m³	560,3	9.164,1	11.099,0	6.6.04 Glasvlies	m ² (0,12 kg/m ² mit 2.294 kg/m ³); m³ m ² (0,12 kg/m ² mit 2.294 kg/m ³); m³	0,0	0,0	0,0	6.6.04 Glasvlies	m ² (0,12 kg/m ² mit 2.294 kg/m ³); m³ m ² (0,12 kg/m ² mit 2.294 kg/m ³); m³	3,8	54,8	62,0
Glasvlies Decke	6.6.04 Glasvlies	m ² (0,12 kg/m ² mit 229,4 kg/m ³); m³ m ² (0,12 kg/m ² mit 229,4 kg/m ³); m³	560,3	9.164,1	11.099,0	6.6.04 Glasvlies	m ² (0,12 kg/m ² mit 2.294 kg/m ³); m³ m ² (0,12 kg/m ² mit 2.294 kg/m ³); m³	0,0	0,0	0,0	6.6.04 Glasvlies	m ² (0,12 kg/m ² mit 2.294 kg/m ³); m³ m ² (0,12 kg/m ² mit 2.294 kg/m ³); m³	3,8	54,8	62,0
Glattputz (Kalkzement)	1.4.04 Kalkzement Putzmörtel (de)	m³ (1.800 kg/m ³)	356,6	2.157,8	3.268,8	-	-	0,0	0,0	0,0	1.4.04 Kalkzement Putzmörtel (de)	m³ (1.800 kg/m ³)	27,0	394,2	446,0
Glattputz (Kalkzement), nach Sanierung innenliegend	1.4.04 Kalkzement Putzmörtel (de)	m³ (1.800 kg/m ³)	356,6	2.157,8	3.268,8	-	-	0,0	0,0	0,0	1.4.04 Kalkzement Putzmörtel (de)	m³ (1.800 kg/m ³)	27,0	394,2	446,0
Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	6.7.04 Bitumen Kaltkleber (60% Bitumen, 23%LM, 17% Wasser)	kg (950 kg/m ³); m³	582,6	47.839,4	50.376,1	6.7.04 Bitumen Kaltkleber (60% Bitumen, 23%LM, 17% Wasser)	kg (950 kg/m ³); m³	0,0	0,0	0,0	6.7.04 Bitumen Kaltkleber (60% Bitumen, 23%LM, 17% Wasser)	kg (950 kg/m ³); m³	81,6	1281,5	1371,5
Hartfaserplatte	3.2.07 Hochdichte Faserplatte (Durchschnitt DE)	m³ (849,9 kg/m ³)	-854,2	6.307,5	22.508,0	3.2.07 Hochdichte Faserplatte (Durchschnitt DE)	m³ (849,9 kg/m ³)	1.230,9	-1.130,4	-14.066,7	-	-	0,0	0,0	0,0
Hohlblockstein (75/25)	75% 1.3.04 Blähton LB Planstein Außenwand; 25% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (501 kg/m ³); m³ (2.000 kg/m ³)	215,3	1.511,9	1.855,9	75% 1.3.04 Blähton LB Planstein Außenwand;	m³ (501 kg/m ³); m³ (2.000 kg/m ³)	2,5	41,9	46,4	25% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (2.000 kg/m ³)	7,3	106,9	121,0
Hohlblockstein (90/10)	90% 1.3.04 Blähton LB Planstein Außenwand; 10% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (501 kg/m ³); m³ (2.000 kg/m ³)	189,4	1.582,5	1.943,2	90% 1.3.04 Blähton LB Planstein Außenwand;	m³ (501 kg/m ³); m³ (2.000 kg/m ³)	3,0	50,3	55,7	10% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (2.000 kg/m ³)	2,9	42,8	48,4
Hohlziegel	1.3.02 Mauerziegel	m³ (575 kg/m ³)	138,3	1.295,0	1.556,4	1.3.02 Mauerziegel	m³ (575 kg/m ³)	-10,1	28,3	29,9	1.3.02 Mauerziegel	m³ (575 kg/m ³)	0,3	4,4	4,8
Hochlochziegel (75/25)	75% 1.3.02 Mauerziegel; 25% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (575 kg/m ³); m³ (2.000 kg/m ³)	190,0	1.261,1	1.522,1	75% 1.3.02 Mauerziegel	m³ (575 kg/m ³)	-7,5	21,2	22,4	75% 1.3.02 Mauerziegel; 25% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (575 kg/m ³); m³ (2.000 kg/m ³)	7,6	110,2	124,5
Hochlochziegel (90/10)	90% 1.3.02 Mauerziegel; 10% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (575 kg/m ³); m³ (2.000 kg/m ³)	159,0	1.281,5	1.542,7	90% 1.3.02 Mauerziegel	m³ (575 kg/m ³)	-9,1	25,5	26,9	90% 1.3.02 Mauerziegel; 10% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (575 kg/m ³); m³ (2.000 kg/m ³)	3,2	46,7	52,7
Hochlochziegel (98/2)	98% 1.3.02 Mauerziegel; 2% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (575 kg/m ³); m³ (2.000 kg/m ³)	142,4	1.292,3	1.553,7	98% 1.3.02 Mauerziegel	m³ (575 kg/m ³)	-9,9	27,8	29,3	98% 1.3.02 Mauerziegel; 2% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (575 kg/m ³); m³ (2.000 kg/m ³)	0,9	12,9	14,3

A.5 Übersicht zu den verwendeten Datensätzen je Material

Hochlochziegel (99,6/0,4)	99,6% 1.3.02 Mauerziegel; 0,4% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (575 kg/m³); m³ (2.000 kg/m³)	139,1	1.294,5	1.555,9	99,6% 1.3.02 Mauerziegel	m³ (575 kg/m³)	-10,0	28,2	29,8	99,6% 1.3.02 Mauerziegel; 0,4% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (575 kg/m³); m³ (2.000 kg/m³)	0,4	6,1	6,7
Hochlochziegel (51,6/48/0,4), Trennwand	51,6% 1.3.02 Mauerziegel; 48% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; 0,4% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (575 kg/m³); m³ (2.400 kg/m³); m³ (2.000 kg/m³)	158,2	1.110,6	1.332,9	51,6% 1.3.02 Mauerziegel; 48% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; -	m³ (575 kg/m³); m³ (2.400 kg/m³)	-2,3	52,4	63,1	51,6% 1.3.02 Mauerziegel;- 0,4% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (575 kg/m³); m³ (2.000 kg/m³)	0,3	4,0	4,4
Hochlochziegel, Dämmstoff gefüllt (99,6/0,4)	99,6% 1.3.02 Mauerziegel (Dämmstoff gefüllt); 0,4% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (575 kg/m³); m³ (2.000 kg/m³)	177,7	1.780,5	2.067,5	99,6% 1.3.02 Mauerziegel (Dämmstoff gefüllt)	m³ (575 kg/m³)	-10,0	28,2	29,8	99,6% 1.3.02 Mauerziegel (Dämmstoff gefüllt); 0,4% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (575 kg/m³); m³ (2.000 kg/m³)	0,4	6,1	6,7
Hochofenschlacke	1.2.08 Schmelzkammergranulat	kg (1.200 kg/m³); m³	0,0	0,0	0,0	100.1.01 Bauschuttzubereitung	kg; m³	3,2	61,9	67,4	-	-	0,0	0,0	0,0
Holzbalken	3.1.02 Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)	m³ (492,92 kg/m³)	-711,7	1.210,7	11.849,7	3.1.02 Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)	m³ (492,92 kg/m³)	810,1	53,7	-8.431,4	-	-	0,0	0,0	0,0
Holzbalken mit Steinkohleschlacke	8% 3.1.02 Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE); 92% 1.2.08 Steinkohleflugasche	m³ (492,92 kg/m³); kg (905 kg/m³)	-56,9	96,9	948,0	8% 3.1.02 Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE); 92% 100.1.01 Bauschuttzubereitung	m³ (492,92 kg/m³); kg	67,0	47,2	-627,8	-	-	0,0	0,0	0,0
Holz-Blendrahmen	7.1.01 Holz-Blendrahmen	m (2,11 kg/m mit ca. 520 kg/m³)	-0,4	53,1	144,5	7.1.01 Holz-Blendrahmen	m (2,11 kg/m mit ca. 520 kg/m³)	4,0	0,0	0,1	-	-	0,0	0,0	0,0
Holzeinschub	3.1.01 Nadelnschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE)	m³ (484,51 kg/m³)	-735,1	724,6	10.994,9	3.1.01 Nadelnschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE)	m³ (484,51 kg/m³)	797,1	58,8	-8.285,9	-	-	0,0	0,0	0,0
Holzfaserdämmplatte (VF)	2.10.01 Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)	m³ (160 kg/m³)	-182,2	1.822,5	5.473,6	2.10.01 Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)	m³ (160 kg/m³)	334,7	3,7	5,8	-	-	0,0	0,0	0,0
Holzfaserdämmplatte (DA)	2.10.01 Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)	m³ (160 kg/m³)	-182,2	1.822,5	5.473,6	2.10.01 Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)	m³ (160 kg/m³)	334,7	3,7	5,8	-	-	0,0	0,0	0,0
Holzfaserdämmung (Innenausbau)	2.10.01 Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)	m³ (160 kg/m³)	-182,2	1.822,5	5.473,6	2.10.01 Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)	m³ (160 kg/m³)	334,7	3,7	5,8	-	-	0,0	0,0	0,0
Holzfaserdämmung (TSD)	2.10.01 Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)	m³ (160 kg/m³)	-182,2	1.822,5	5.473,6	2.10.01 Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)	m³ (160 kg/m³)	334,7	3,7	5,8	-	-	0,0	0,0	0,0
Holz-Flügelrahmen	7.1.01 Holz-Flügelrahmen	m (2,11 kg/m mit ca. 520 kg/m³)	-0,1	57,0	148,7	7.1.01 Holz-Flügelrahmen	m (2,11 kg/m mit ca. 520 kg/m³)	4,0	0,0	0,1	-	-	0,0	0,0	0,0
Holznagelbinder	3.1.02 Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)	m³ (492,92 kg/m³)	-711,7	1.210,7	11.849,7	3.1.02 Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)	m³ (492,92 kg/m³)	810,1	53,7	-8.431,4	-	-	0,0	0,0	0,0
Holzständer (Eiche)/Gefach: Lehmstaken	30% 3.1.02 Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE); 35% 1.3.17 Stampflehmwand; 35% 2.23.01 FASBA e.V. Baustroh 100 kg/m³	m³ (492,92 kg/m³); m³ (2.000 kg/m³); m³ (100 kg/m³)	-254,7	428,5	4.198,7	30% 3.1.02 Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE); 35% 1.3.17 Stampflehmwand; 35% 2.23.01 FASBA e.V. Baustroh 100 kg/m³	m³ (492,92 kg/m³); m³ (2.000 kg/m³); m³ (100 kg/m³)	245,4	61,8	-2.479,9	35% 2.23.01 FASBA e.V. Baustroh 100 kg/m³	m³ (100 kg/m³)	4,7	0,0	-57,1

Holzständer (Eiche)/Gefach: Lehmstein	18% 3.1.02 Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE); 62% 1.3.17 Lehmstein; 20% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (492,92 kg/m³); m³ (1.200 kg/m³); m³ (2.000 kg/m³)	-1,0	1.408,4	3.423,9	18% 3.1.02 Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE); 62% 1.3.17 Lehmstein;	m³ (492,92 kg/m³); m³ (1.200 kg/m³)	148,3	58,2	-1.465,0	20% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (2.000 kg/m³)	5,9	85,5	96,8
Holzständer (Eiche)/Gefach: Ziegel	18% 3.1.02 Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE); 62% 1.3.02 Mauerziegel; 20% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (492,92 kg/m³); m³ (575 kg/m³); m³ (2.000 kg/m³)	26,7	1.252,7	3.381,8	18% 3.1.02 Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE); 62% 1.3.02 Mauerziegel	m³ (492,92 kg/m³); m³ (575 kg/m³)	139,6	27,2	-1.499,1	62% 1.3.02 Mauerziegel; 20% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (575 kg/m³); m³ (2.000 kg/m³)	6,1	88,3	99,7
Holzständer/Vollziegel/Mörtel	18% 3.1.02 Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE); 62% 1.3.02 Mauerziegel; 20% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (492,92 kg/m³); m³ (575 kg/m³); m³ (2.000 kg/m³)	26,7	1.252,7	3.381,8	18% 3.1.02 Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE); 62% 1.3.02 Mauerziegel	m³ (492,92 kg/m³); m³ (575 kg/m³)	139,6	27,2	-1.499,1	62% 1.3.02 Mauerziegel; 20% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (575 kg/m³); m³ (2.000 kg/m³)	6,1	88,3	99,7
Holzwohle-Leichtbauplatte	2.7.01 Holzwohle-Leichtbauplatte	m³ (360 kg/m³)	-29,4	2.101,3	5.254,3	2.7.01 Holzwohle-Leichtbauplatte	m³ (360 kg/m³)	317,5	8,3	13,0	-	-	0,0	0,0	0,0
Holzwohle-Leichtbauplatte mit Polystyrolkern	50% 2.7.01 Holzwohle-Leichtbauplatte ; 50% 2.2.01 EPS-Hartschaum (Styropor ®) für Wände und Dächer W/D-040	m³ (360 kg/m³); m³ (18 kg/m³)	11,6	1.815,6	3.403,3	50% 2.7.01 Holzwohle-Leichtbauplatte	m³ (360 kg/m³)	158,7	4,1	6,5	50% 2.2.01 EPS-Hartschaum (Styropor ®) für Wände und Dächer W/D-040	m³ (18 kg/m³)	29,8	3,8	4,2
Hourdis-Stein (Hohlziegel)	1.3.02 Mauerziegel	m³ (575 kg/m³)	138,3	1.295,0	1.556,4	1.3.02 Mauerziegel	m³ (575 kg/m³)	-10,1	28,3	29,9	1.3.02 Mauerziegel	m³ (575 kg/m³)	0,3	4,4	4,8
Innenputz	1.4.04 Kalk-Gips-Innenputz	m³ (900 kg/m³)	198,9	1.768,4	2.077,2	-	-	0,0	0,0	0,0	1.4.04 Kalk-Gips-Innenputz	m³ (900 kg/m³)	13,5	197,1	223,0
Isolierverglasung	200% 7.2.01 Fensterglas einfach	m² (10 kg/m² mit 2.500 kg/m³)	26,7	336,6	358,0	-	-	0,0	0,0	0,0	200% 7.2.01 Fensterglas einfach	m² (10 kg/m² mit 2.500 kg/m³)	0,3	4,8	5,4
Kalksandstein (99,2/0,8)	99.2% 1.3.01 Kalksandstein; 0.8% 1.4.02 Zementmörtel	t (1.800 kg/m³); m³ (2.000 kg/m³); m³ (2.000 kg/m³); m³ (1.800 kg/m³)	245,6	1.789,5	2.104,1	99.2% 100.1.01 Ausschuttzubereitung	kg; m³	4,8	92,1	100,3	0.8% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (2.000 kg/m³)	0,2	3,4	3,9
Kalksandstein (95/5)	95% 1.3.01 Kalksandstein; 5% 1.4.02 Zementmörtel	t (1.800 kg/m³); m³ (2.000 kg/m³); m³ (2.000 kg/m³); m³ (1.800 kg/m³)	249,8	1.762,8	2.075,1	95% 100.1.01 Ausschuttzubereitung	kg; m³	4,6	88,2	96,0	5% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (2.000 kg/m³)	1,5	21,4	24,2
Kalksandstein (75/25)	75% 1.3.01 Kalksandstein; 25% 1.4.02 Zementmörtel	t (1.800 kg/m³); m³ (2.000 kg/m³); m³ (2.000 kg/m³); m³ (1.800 kg/m³)	269,9	1.635,8	1.937,0	75% 100.1.01 Ausschuttzubereitung	kg; m³	3,6	69,6	75,8	25% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (2.000 kg/m³)	7,3	106,9	121,0
Kalkgipsputz	1.4.04 Kalk-Gips-Innenputz	m³ (900 kg/m³)	198,9	1.768,4	2.077,2	-	-	0,0	0,0	0,0	1.4.04 Kalk-Gips-Innenputz	m³ (900 kg/m³)	13,5	197,1	223,0
Kalkzementputz	1.4.04 Kalkzement Putzmörtel (de)	m³ (1.800 kg/m³)	356,6	2.157,8	3.268,8	-	-	0,0	0,0	0,0	1.4.04 Kalkzement Putzmörtel (de)	m³ (1.800 kg/m³)	27,0	394,2	446,0
Kantholz	3.1.01 Nadelschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE)	m³ (484,51 kg/m³)	-735,1	724,6	10.994,9	3.1.01 Nadelschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE)	m³ (484,51 kg/m³)	797,1	58,8	-8.285,9	-	-	0,0	0,0	0,0

A.5 Übersicht zu den verwendeten Datensätzen je Material

Kappendecke aus Beton (mit Stahlträgern)	95,5% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; 3% 4.1.02 Bewehrungsstahl; 1,5% 4.1.03 Stahlprofil	m³ (2.400 kg/m³); kg (7.874 kg/m³); kg (7.850 kg/m³)	448,0	4.237,3	5.671,7	95,5% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	m³ (2.400 kg/m³)	5,7	75,2	94,9	1,5% 100.1.04 End of Life von Stahlprofilen	kg; m³	0,1	1,2	1,3
Kappendecke aus Vollziegel (mit Stahlträgern)	74% 1.3.02 Mauerziegel; 24,5% 1.4.02 Zementmörtel; 1,5% 4.1.03 Stahlprofil	m³ (575 kg/m³); m³ (2.000 kg/m³); kg (7.850 kg/m³)	186,9	1.242,5	1.499,7	74% 1.3.02 Mauerziegel	m³ (575 kg/m³)	-7,4	21,0	22,1	74% 1.3.02 Mauerziegel; 24,5% 1.4.02 Zementmörtel; 1,5% 100.1.04 End of Life von Stahlprofilen	m³ (575 kg/m³); m³ (2.000 kg/m³); kg (7.850 kg/m³)	7,5	109,2	123,4
Kies	1.2.01 Kies 2/32 getrocknet	kg (1.850 kg/m³); m³	61,5	1.003,7	1.030,3	1.2.01 Kies 2/32 getrocknet	kg (1.850 kg/m³); m³	13,6	225,4	249,7	-	-	0,0	0,0	0,0
Kies unter Bodenplatte	1.2.01 Kies 2/32 getrocknet	kg (1.850 kg/m³); m³	61,5	1.003,7	1.030,3	1.2.01 Kies 2/32 getrocknet	kg (1.850 kg/m³); m³	13,6	225,4	249,7	-	-	0,0	0,0	0,0
Konstruktionsvollholz	3.1.02 Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)	m³ (492,92 kg/m³)	-711,7	1.210,7	11.849,7	3.1.02 Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)	m³ (492,92 kg/m³)	810,1	53,7	-8.431,4	-	-	0,0	0,0	0,0
Konterlattung	3.1.01 Nadelschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE)	m³ (484,51 kg/m³)	-735,1	724,6	10.994,9	3.1.01 Nadelschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE)	m³ (484,51 kg/m³)	797,1	58,8	-8.285,9	-	-	0,0	0,0	0,0
Kunststoffbahn	6.6.03 Dampfbremse PE (Dicke 0,0002 m)	m² (0,2 kg/m² mit 930 kg/m³); m³	1857,2	63.044,2	67.341,0	6.6.03 Dampfbremse PE (Dicke 0,0002 m)	m² (0,2 kg/m² mit 930 kg/m³); m³	2.585,2	420,5	508,3	-	-	0,0	0,0	0,0
Kunststoff-Blendrahmen	7.1.09 Blendrahmen PVC-U	m (2,8 kg/m)	8,3	136,2	151,7	7.1.09 Blendrahmen PVC-U	m (2,8 kg/m)	3,9	8,3	10,7	-	-	0,0	0,0	0,0
Kunststoff-Flügelrahmen	7.1.09 Flügelrahmen PVC-U	m (3,1 kg/m)	9,2	159,0	177,6	7.1.09 Flügelrahmen PVC-U	m (3,1 kg/m)	4,8	10,2	13,2	-	-	0,0	0,0	0,0
Lagerhölzer	6% 3.1.01 Nadelschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE)	m³ (484,51 kg/m³)	-44,1	43,5	659,7	6% 3.1.01 Nadelschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE)	m³ (484,51 kg/m³)	47,8	3,5	-497,2	-	-	0,0	0,0	0,0
Lagerhölzer mit Sandschüttung	8% 3.1.02 Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE); 92% 1.2.01 Sand 0/2 getrocknet	m³ (492,92 kg/m³); kg (1.350 kg/m³)	-15,6	770,7	1.639,6	8% 3.1.02 Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE); 92% 1.2.01 Sand 0/2 getrocknet	m³ (492,92 kg/m³); kg (1.350 kg/m³)	73,9	155,6	-506,9	-	-	0,0	0,0	0,0
Lagerhölzer mit Schlackenfüllung	8% 3.1.02 Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE); 92% 1.2.08 Schmelzkammergranulat	m³ (492,92 kg/m³); kg (1.200 kg/m³)	-56,9	96,9	948,0	8% 3.1.02 Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE); 92% 100.1.01 Bauschuttubereitung	m³ (492,92 kg/m³); kg	67,7	61,2	-612,5	-	-	0,0	0,0	0,0
Lattung	3.1.01 Nadelschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE)	m³ (484,51 kg/m³)	-735,1	724,6	10.994,9	3.1.01 Nadelschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE)	m³ (484,51 kg/m³)	797,1	58,8	-8.285,9	-	-	0,0	0,0	0,0
Lehmputz innen	1.4.04 Lehmputz	m³ (900 kg/m³)	93,1	948,0	1.141,9	1.4.04 Lehmputz	m³ (900 kg/m³)	2,8	54,2	58,8	-	-	0,0	0,0	0,0
Lehmputz außen	1.4.04 Lehmputz	m³ (900 kg/m³)	93,1	948,0	1.141,9	1.4.04 Lehmputz	m³ (900 kg/m³)	2,8	54,2	58,8	-	-	0,0	0,0	0,0
Lehmputz außen, nach Sanierung innenliegend	1.4.04 Lehmputz	m³ (900 kg/m³)	93,1	948,0	1.141,9	1.4.04 Lehmputz	m³ (900 kg/m³)	2,8	54,2	58,8	-	-	0,0	0,0	0,0
Lehmschlag	75% 71.4.04 Lehmputz; 25% 2.23.01 FASBA e.V. Baustroh 100 kg/m³	m³ (900 kg/m³); m³ (100 kg/m³)	38,1	726,7	1.284,6	75% 1.4.04 Lehmputz; 25% 2.23.01 FASBA e.V. Baustroh 100 kg/m³	m³ (900 kg/m³); m³ (100 kg/m³)	2,1	40,7	44,1	25% 2.23.01 FASBA e.V. Baustroh 100 kg/m³	m³ (100 kg/m³)	3,4	0,0	-40,8

Lehmschüttung	1.4.04 Lehmputz	m ³ (900 kg/m ³)	93,1	948,0	1.141,9	1.4.04 Lehmputz	m ³ (900 kg/m ³)	2,8	54,2	58,8	-	-	0,0	0,0	0,0
Lehmwickel	69% 71.4.04 Lehmputz; 23% 2.23.01 FASBA e.V. Baustroh 100 kg/m ³ ; 8% 3.1.01 Schnittholz Eiche (12% Feuchte/10.7% H2O)	m ³ (900 kg/m ³); m ³ (100 kg/m ³); m ³ (716,8 kg/m ³)	-50,0	803,8	2.463,5	69% 71.4.04 Lehmputz; 23% 2.23.01 FASBA e.V. Baustroh 100 kg/m ³ ; 8% 3.1.01 Schnittholz Eiche (12% Feuchte/10.7% H2O)	m ³ (900 kg/m ³); m ³ (100 kg/m ³); m ³ (716,8 kg/m ³)	105,0	38,6	42,5	23% 2.23.01 FASBA e.V. Baustroh 100 kg/m ³	m ³ (100 kg/m ³)	3,1	0,0	-37,5
Leichtbeton	90% 1.3.04 Blähton LB Planstein Außenwand; 10% 1.4.02 Zementmörtel	m ³ (501 kg/m ³); m ³ (2.000 kg/m ³)	189,4	1.582,5	1.943,2	90% 1.3.04 Blähton LB Planstein Außenwand;	m ³ (501 kg/m ³); m ³ (2.000 kg/m ³)	3,0	50,3	55,7	10% 1.4.02 Zementmörtel	m ³ (2.000 kg/m ³)	2,9	42,8	48,4
Leichtlochziegel	96% 1.3.02 Mauerziegel; 4% 1.4.02 Zementmörtel	m ³ (575 kg/m ³); m ³ (2.000 kg/m ³)	146,6	1289,6	1.550,9	96% 1.3.02 Mauerziegel	m ³ (575 kg/m ³)	-9,7	27,2	28,7	96% 1.3.02 Mauerziegel; 4% 1.4.02 Zementmörtel	m ³ (575 kg/m ³); m ³ (2.000 kg/m ³)	1,5	21,3	23,9
Luftschicht, ruhend	-	-	0,0	0,0	0,0	-	-	0,0	0,0	0,0	-	-	0,0	0,0	0,0
Luftschicht, ruhend (30% einbindende Kalksandsteine angenommen)	30% 1.3.01 Kalksandstein	t (1.800 kg/m ³); m ³	73,4	538,4	632,9	30% 100.1.01 Bauschutttaufbereitung	kg; m ³	1,4	27,8	30,3	-	-	0,0	0,0	0,0
Luftschicht, ruhend (30% einbindende Mauerziegel angenommen)	30% 1.3.02 Mauerziegel	m ³ (575 kg/m ³)	41,5	388,5	466,9	30% 1.3.02 Mauerziegel	m ³ (575 kg/m ³)	-3,0	8,5	9,0	30% 1.3.02 Mauerziegel	m ³ (575 kg/m ³)	0,1	1,3	1,4
Luftschicht, ruhend (30% einbindende Porenbetonsteine angenommen)	30% 1.3.03 Porenbeton P4 05 unbewehrt	m ³ (380 kg/m ³)	66,8	401,3	493,9	30% 1.3.03 Porenbeton P4 05 unbewehrt	m ³ (380 kg/m ³)	1,0	15,8	17,5	-	-	0,0	0,0	0,0
Luftschicht, ruhend (30% einbindende Ziegelsplittbetonsteine angenommen)	30% 1.3.05 Beton-Mauersteine	m ³ (2.000 kg/m ³)	72,7	354,3	448,4	30% 1.3.05 Beton-Mauersteine	m ³ (2.000 kg/m ³)	4,0	67,0	74,2	-	-	0,0	0,0	0,0
Luftschicht, stark belüftet	-	-	0,0	0,0	0,0	-	-	0,0	0,0	0,0	-	-	0,0	0,0	0,0
MDF-Platte	3.2.07 MDF (Roh)	m ³ (700 kg/m ³)	-668,6	7.530,8	25.064,4	3.2.07 MDF (Roh)	m ³ (700 kg/m ³)	633,5	0,0	0,0	-	-	0,0	0,0	0,0
Mineralwolle (Außenwand)	2.1.01 Mineralwolle (Fassaden-Dämmung)	m ³ (46,25 kg/m ³)	70,4	818,9	951,5	2.1.01 Mineralwolle (Fassaden-Dämmung)	m ³ (46,25 kg/m ³)	1,3	46,3	48,4	2.1.01 Mineralwolle (Fassaden-Dämmung)	m ³ (46,25 kg/m ³)	0,7	10,3	11,6
Mineralwolle (Boden)	2.1.01 Mineralwolle (Boden-Dämmung)	m ³ (85 kg/m ³)	133,9	1.715,6	1.994,7	2.1.01 Mineralwolle (Boden-Dämmung)	m ³ (85 kg/m ³)	2,3	85,0	88,8	2.1.01 Mineralwolle (Boden-Dämmung)	m ³ (85 kg/m ³)	1,3	18,9	21,3
Mineralwolle (Flachdach)	2.1.01 Mineralwolle (Flachdach-Dämmung)	m ³ (mit 145 kg/m ³)	209,5	2.048,5	2.377,6	2.1.01 Mineralwolle (Flachdach-Dämmung)	m ³ (mit 145 kg/m ³)	4,0	145,0	151,4	2.1.01 Mineralwolle (Flachdach-Dämmung)	m ³ (mit 145 kg/m ³)	2,2	32,2	36,4
Mineralwolle (Innenausbau)	2.1.01 Mineralwolle (Innenausbau-Dämmung)	m ³ (26,25 kg/m ³)	40,3	481,2	559,2	2.1.01 Mineralwolle (Innenausbau-Dämmung)	m ³ (26,25 kg/m ³)	0,7	26,3	27,5	2.1.01 Mineralwolle (Innenausbau-Dämmung)	m ³ (26,25 kg/m ³)	0,4	5,8	6,6
Mineralwolle (Schrägdach)	2.1.01 Mineralwolle (Schrägdach-Dämmung)	m ³ (30 kg/m ³)	46,5	570,9	663,6	2.1.01 Mineralwolle (Schrägdach-Dämmung)	m ³ (30 kg/m ³)	0,8	28,6	29,8	2.1.01 Mineralwolle (Schrägdach-Dämmung)	m ³ (30 kg/m ³)	0,5	6,6	7,5
Mineralwolle (VF)	2.1.01 Mineralwolle (Fassaden-Dämmung)	m ³ (46,25 kg/m ³)	70,4	818,9	951,5	2.1.01 Mineralwolle (Fassaden-Dämmung)	m ³ (46,25 kg/m ³)	1,3	46,3	48,4	2.1.01 Mineralwolle (Fassaden-Dämmung)	m ³ (46,25 kg/m ³)	0,7	10,3	11,6
Natursteinmauerwerk	75% 1.3.08 Natursteinplatte, hart, Außenbereich (Dicke 0,080 m); 25% 1.4.02 Zementmörtel	m ² (208 kg/m ²); 2.600 kg/m ³ ; m ³ (2.000 kg/m ³)	140,0	1.036,4	1.141,2	75% 1.3.08 Natursteinplatte, hart, Außenbereich (Dicke 0,080 m)	m ² (208 kg/m ²); 2.600 kg/m ³ ; m ³	13,1	217,8	241,3	25% 1.4.02 Zementmörtel	m ³ (2.000 kg/m ³)	7,3	106,9	121,0

A.5 Übersicht zu den verwendeten Datensätzen je Material

Noppenbahn	6.6.03 PE-Noppenfolie zur Abdichtung (Dicke 0,00125 m)	m ² (960 kg/m ³); m ³	3.271,3	94.611,2	99.038,3	6.6.03 PE-Noppenfolie zur Abdichtung (Dicke 0,00125 m)	m ² (960 kg/m ³); m ³	3.316,3	534,6	644,5	-	-	0	0	0
Normalbeton	1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	m ³ (2.400 kg/m ³)	178,0	912,0	1.092,0	1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	m ³ (2.400 kg/m ³)	6,0	78,7	99,4	-	-	0,0	0,0	0,0
Ortbeton	1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	m ³ (2.400 kg/m ³)	178,0	912,0	1.092,0	1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	m ³ (2.400 kg/m ³)	6,0	78,7	99,4	-	-	0,0	0,0	0,0
Ortbetondecke	97% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; 3% 4.1.02 Bewehrungsstahl	m ³ (2.400 kg/m ³); kg (7.850 kg/m ³)	333,6	2.956,8	4.023,6	97% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	m ³ (2.400 kg/m ³)	5,8	76,3	96,4	-	-	0,0	0,0	0,0
OSB-Platte	3.2.04 Oriented Strand Board (Durchschnitt DE)	m ³ (600 kg/m ³)	-572,7	8.528,2	21.397,8	3.2.04 Oriented Strand Board (Durchschnitt DE)	m ³ (600 kg/m ³)	977,2	-362,5	-10.708,5	-	-	0,0	0,0	0,0
Pappe	6.6.05 Kraftpapier	m ² (0,08 kg/m ² mit 800 kg/m ³); m ³	-897,3	5.888,0	34.095,0	6.6.05 Kraftpapier	m ² (0,08 kg/m ² mit 800 kg/m ³); m ³	1.620,7	18,3	28,9	-	-	0,0	0,0	0,0
PE-Folie Bodenplatte	6.6.03 Dampfbremse PE (Dicke 0,0002 m)	m ² (0,2 kg/m ² mit 930 kg/m ³); m ³	1.857,2	63.044,2	67.341,0	6.6.03 Dampfbremse PE (Dicke 0,0002 m)	m ² (0,2 kg/m ² mit 930 kg/m ³); m ³	2.585,2	420,5	508,3	-	-	0,0	0,0	0,0
PE-Folie Dach	6.6.03 Dampfbremse PE (Dicke 0,0002 m)	m ² (0,2 kg/m ² mit 930 kg/m ³); m ³	1.857,2	63.044,2	67.341,0	6.6.03 Dampfbremse PE (Dicke 0,0002 m)	m ² (0,2 kg/m ² mit 930 kg/m ³); m ³	2.585,2	420,5	508,3	-	-	0,0	0,0	0,0
PE-Folie Decke	6.6.03 Dampfbremse PE (Dicke 0,0002 m)	m ² (0,2 kg/m ² mit 930 kg/m ³); m ³	1.857,2	63.044,2	67.341,0	6.6.03 Dampfbremse PE (Dicke 0,0002 m)	m ² (0,2 kg/m ² mit 930 kg/m ³); m ³	2.585,2	420,5	508,3	-	-	0,0	0,0	0,0
PE-Folie Wand	6.6.03 Dampfbremse PE (Dicke 0,0002 m)	m ² (0,2 kg/m ² mit 930 kg/m ³); m ³	1.857,2	63.044,2	67.341,0	6.6.03 Dampfbremse PE (Dicke 0,0002 m)	m ² (0,2 kg/m ² mit 930 kg/m ³); m ³	2.585,2	420,5	508,3	-	-	0,0	0,0	0,0
PE-HD-Flächenabdichtung	6.6.03 PE-HD mit PP-Vlies zu Abdichtung	m ² (1,3 kg/m ² ; ca. 1.067 kg/m ³); m ³	2.636,0	93.295,2	98.070,9	6.6.03 PE-HD mit PP-Vlies zu Abdichtung	m ² (1,3 kg/m ² ; ca. 1.067 kg/m ³); m ³	3.974,8	641,0	772,9	-	-	0,0	0,0	0,0
Polystyrolämmung Decke und Boden, EPS, WLS 040	2.2.01 EPS-Hartschaum (Styropor ®) für Decken/Böden und als Perimeterdämmung B/P-040	m ³ (18,5 kg/m ³)	53,8	1.590,0	1.612,7	-	-	0,0	0,0	0,0	-	-	61,0	7,8	8,5
Polystyrolämmung Decke und Boden, EPS, WLS 035	2.2.01 EPS-Hartschaum (Styropor ®) für Decken/Böden und als Perimeterdämmung B/P-035	m ³ (25,9 kg/m ³)	75,4	2.230,0	2.257,5	-	-	0,0	0,0	0,0	-	-	85,9	11,0	12,1
Polystyrolämmung Flachdach, EPS 035	2.2.01 EPS-Hartschaum (Styropor ®) für Decken/Böden und als Perimeterdämmung B/P-035	m ³ (25,9 kg/m ³)	75,4	2.230	2.257,5	-	-	0,0	0,0	0,0	-	-	85,9	11,0	12,1
Polystyrolämmung Wand und Dach, EPS	2.2.01 EPS-Hartschaum (Styropor ®) für Wände und Dächer W/D-040	m ³ (18,0 kg/m ³)	52,5	1.530,0	1.552,2	-	-	0,0	0,0	0,0	-	-	59,5	7,6	8,3
Polystyrolämmung, XPS (AW)	2.3.01 XPS-Dämmstoff	m ³ (32 kg/m ³)	96,3	2.838,7	3.017,3	2.3.01 XPS-Dämmstoff	m ³ (32 kg/m ³)	118,2	17,8	21,6	-	-	0,0	0,0	0,0

Polystyrol­däm­mung, XPS (BO)	2.3.01 XPS-Dämmstoff	m ³ (32 kg/m ³)	96,3	2.838,7	3.017,3	2.3.01 XPS-Dämmstoff	m ³ (32 kg/m ³)	118,2	17,8	21,6	-	-	0,0	0,0	0,0
Polystyrol­däm­mung, XPS (DA)	2.3.01 XPS-Dämmstoff	m ³ (32 kg/m ³)	96,3	2.838,7	3.017,3	2.3.01 XPS-Dämmstoff	m ³ (32 kg/m ³)	118,2	17,8	21,6	-	-	0,0	0,0	0,0
Polystyrol­däm­mung, XPS (KW)	2.3.01 XPS-Dämmstoff	m ³ (32 kg/m ³)	96,3	2.838,7	3.017,3	2.3.01 XPS-Dämmstoff	m ³ (32 kg/m ³)	118,2	17,8	21,6	-	-	0,0	0,0	0,0
Porenbeton	1.3.03 Porenbeton P4 05 unbewehrt	m ³ (380 kg/m ³)	222,6	1.337,6	1.646,2	1.3.03 Porenbeton P4 05 unbewehrt	m ³ (380 kg/m ³)	3,2	52,7	58,4	-	-	0,0	0,0	0,0
Porenbeton P2 04 (99,2/0,8)	99.2% 1.3.03 Porenbeton P2 04 unbewehrt; 0.8% 1.4.02 Zementmörtel	m ³ (380 kg/m ³); m ³ (2.000 kg/m ³)	183,7	1.144,6	1.428,4	99.2% 1.3.03 Porenbeton P2 04 unbewehrt	m ³ (380 kg/m ³)	2,5	42,1	46,6	0.8% 1.4.02 Zementmörtel	m ³ (2.000 kg/m ³)	0,2	3,4	3,9
Porenbeton P4 05 (95/5)	95% 1.3.03 Porenbeton P4 05 unbewehrt; 5% 1.4.02 Zementmörtel	m ³ (380 kg/m ³); m ³ (2.000 kg/m ³)	228,73	1.328,70	1.634,88	95% 1.3.03 Porenbeton P4 05 unbewehrt	m ³ (380 kg/m ³)	3,0	50,1	55,5	5% 1.4.02 Zementmörtel	m ³ (2.000 kg/m ³)	1,5	21,4	24,2
Profilbretter	3.3.01 Nadelschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE)	m ³ (484,51 kg/m ³)	-735,1	724,6	10.994,9	3.3.01 Nadelschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE)	m ³ (484,51 kg/m ³)	797,1	58,8	-8.285,9	-	-	0,0	0,0	0,0
PVC-Dachbahn	6.3.02 PVC-Dachbahnen (Dicke 0.0012 m)	m ² (1.250 kg/m ³); m ³	5.060,8	107.877,5	121.753,6	6.3.02 PVC-Dachbahnen (Dicke 0.0012 m)	m ² (1.250 kg/m ³); m ³	4.108,6	8.735,2	11.210,2	-	-	0,0	0,0	0,0
Reetdach	2.23.01 FASBA e.V. Baustroh 100 kg/m ³	m ³ (100 kg/m ³)	-127,0	62,8	1.712,8	2.23.01 FASBA e.V. Baustroh 100 kg/m ³	m ³ (100 kg/m ³)	0,0	0,0	0,0	2.23.01 FASBA e.V. Baustroh 100 kg/m ³	m ³ (100 kg/m ³)	13,4	0,0	-163,0
Sand/Lehm/Schlacke	34% 1.2.01 Sand 0/2 getrocknet; 33% 1.4.04 Lehmputz; 33% 1.2.08 Schmelzkammergranulat	kg (1.350 kg/m ³); m ³ (900 kg/m ³); kg (1.200 kg/m ³); m ³	46,0	561,9	632,4	34% 1.2.01 Sand 0/2 getrocknet; 33% 1.4.04 Lehmputz; 33% 100.1.01 Bauschuttzubereitung;	kg (1.350 kg/m ³); m ³ (900 kg/m ³); kg; m ³	5,3	94,2	103,6	-	-	0,0	0,0	0,0
Sandschüttung	1.2.01 Sand 0/2 getrocknet	kg (1.350 kg/m ³); m ³	44,9	732,4	751,8	1.2.01 Sand 0/2 getrocknet	kg (1.350 kg/m ³); m ³	9,9	164,5	182,2	-	-	0,0	0,0	0,0
Sauberkeitsschicht	1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	m ³ (2.400 kg/m ³)	178,0	912,0	1.092,0	1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	m ³ (2.400 kg/m ³)	6,0	78,7	99,4	-	-	0,0	0,0	0,0
Schalsteine mit Betonfüllung B15	51% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; 49% 1.3.05 Beton-Mauersteine	m ³ (2.400 kg/m ³); m ³ (2.000 kg/m ³)	209,5	1.043,9	1.289,3	51% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; 49% 1.3.05 Beton-Mauersteine	m ³ (2.400 kg/m ³); m ³ (2.000 kg/m ³)	9,7	149,6	172,0	-	-	0,0	0,0	0,0
Schalung	3.1.01 Nadelschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE)	m ³ (484,51 kg/m ³)	-735,1	724,6	10.994,9	3.1.01 Nadelschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE)	m ³ (484,51 kg/m ³)	797,1	58,8	-8.285,9	-	-	0,0	0,0	0,0
Schaumglas	2.6.01 FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+	kg (100 kg/m ³); m ³	126,0	1.980,0	2.846,0	-	-	0,0	0,0	0,0	2.6.01 FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+	kg (100 kg/m ³); m ³	1,4	18,6	20,1
Schaumpolystyrol-Gefällebeton	2.2.01 Schüttung aus Polystyrolschaumstoff-Partikeln (zementgebunden)	m ³ (350 kg/m ³)	160,1	3.004,0	3.115,1	2.2.01 Schüttung aus Polystyrolschaumstoff-Partikeln (zementgebunden)	m ³ (350 kg/m ³)	103,4	15,5	18,9	-	-	0,0	0,0	0,0
Schiefer/Ziegel/Biber	20% 1.3.09 Schiefer; 80% 1.3.10 Dachziegel	m ² (30 kg/m ² ; 2.727 kg/m ³); m ² (63,75 kg/m ² ; 2.180 kg/m ³); m ³	707,8	10.498,9	11.973,7	20% 1.3.09 Schiefer; 80% 1.3.10 Dachziegel	kg/m ³ ; m ² (63,75 kg/m ² ; 2.180 kg/m ³); m ³	11,9	198,4	219,8	-	-	0,0	0,0	0,0

A.5 Übersicht zu den verwendeten Datensätzen je Material

Schiefersplitt in Bitumenemulsion	6.3.01 Bitumenbahnen PYE-PV 200 S5 ns (geschiefert)	m ² (6,2 kg/m ² ; 1.550 kg/m ³); m ³	1.341,0	64.553,5	66.920,5	6.3.01 Bitumenbahnen PYE-PV 200 S5 ns (geschiefert)	m ² (6,2 kg/m ² ; 1.550 kg/m ³); m ³	0,0	0,0	0,0	6.3.01 Bitumenbahnen PYE-PV 200 S5 ns (geschiefert)	m ² (6,2 kg/m ² ; 1.550 kg/m ³); m ³	123,0	1.930,0	2.065,6
Schieferverkleidung	1.3.09 Schiefer	m ² (30 kg/m ² ; 2.727 kg/m ³); m ³	1.367,0	18.452,1	22.906,3	1.3.09 Schiefer	m ² (30 kg/m ² ; 2.727 kg/m ³); m ³	18,3	304,6	337,4	-	-	0,0	0,0	0,0
Schilfrohrmatte	2.23.01 FASBA e.V. Baustroh 100 kg/m ³	m ³ (100 kg/m ³)	-127,0	62,8	1.712,8	2.23.01 FASBA e.V. Baustroh 100 kg/m ³	m ³ (100 kg/m ³)	0,0	0,0	0,0	2.23.01 FASBA e.V. Baustroh 100 kg/m ³	m ³ (100 kg/m ³)	13,4	0,0	-163,0
Schilfrohrträger	2.23.01 FASBA e.V. Baustroh 100 kg/m ³	m ³ (100 kg/m ³)	-127,0	62,8	1.712,8	2.23.01 FASBA e.V. Baustroh 100 kg/m ³	m ³ (100 kg/m ³)	0,0	0,0	0,0	2.23.01 FASBA e.V. Baustroh 100 kg/m ³	m ³ (100 kg/m ³)	13,4	0,0	-163,0
Schlackenschüttung/-füllung	1.2.08 Schmelzkammergranulat	kg (1.200 kg/m ³); m ³	0,0	0,0	0,0	100.1.01 Bauschuttzubereitung	kg; m ³	3,2	61,9	67,4	-	-	0,0	0,0	0,0
Schrägdachdämmung (unspezifisch)	50% 2.1.01 Mineralwolle (Schrägdach-Dämmung); 50% 2.2.01 EPS-Hartschaum (Styropor®) für Wände und Dächer W/D-040	m ³ (30 kg/m ³); m ³ (18 kg/m ³)	49,5	1.050,5	1.107,9	50% 2.1.01 Mineralwolle (Schrägdach-Dämmung)	m ³ (30 kg/m ³)	0,8	28,6	29,8	50% 2.1.01 Mineralwolle (Schrägdach-Dämmung); 50% 2.2.01 EPS-Hartschaum (Styropor®) für Wände und Dächer W/D-040	m ³ (30 kg/m ³); m ³ (18 kg/m ³)	30,0	7,1	7,9
Schutzvlies, 300 g/m ²	6.6.04 PE/PP-Vlies	m ² (0,5 kg/m ² ; 396 kg/m ³); m ³	998,3	35.093,7	37.250,4	6.6.04 PE/PP-Vlies	m ² (0,5 kg/m ² ; 396 kg/m ³); m ³	1492,3	240,6	290,0	-	-	0,0	0,0	0,0
Schüttung, Perlite 0-3	1.2.07 Perlite 0-3	kg (1.000 kg/m ³); m ³	558,3	7.437,4	7.672,7	-	-	0,0	0,0	0,0	100.1.01 Bauschutt-Depositionierung	kg; m ³	13,6	199,1	225,2
Schüttung, Porenbetongranulat	1.3.03 Porenbeton Granulat	m ³ (400 kg/m ³)	5,3	70,2	85,8	1.3.03 Porenbeton Granulat	m ³ (400 kg/m ³)	2,7	44,7	49,5	-	-	0,0	0,0	0,0
Schwerbeton	1.3.05 Betonfertigteil Wand 12 cm	m ² (291,3 kg/m ² ; 2.427,5 kg/m ³); m ³	324,8	382,5	1.657,5	1.3.05 Betonfertigteil Wand 12 cm	m ² (291,3 kg/m ² ; 2.427,5 kg/m ³); m ³	17,5	290,6	322,0	-	-	0,0	0,0	0,0
Schwimmender Estrich	1.4.03 Zementestrich	kg (2.400 kg/m ³); m ³	440,5	2.901,4	3.547,4	-	-	0,0	0,0	0,0	1.4.03 Zementestrich	kg (2.400 kg / m ³); m ³	36,0	525,7	594,7
Sichtbeton	97% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; 3% 4.1.02 Bewehrungsstahl	m ³ (2.400 kg/m ³); kg (7.850 kg/m ³)	333,6	2956,8	4023,6	97% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; -	m ³ (2.400 kg/m ³)	5,8	76,3	96,4	-	-	0,0	0,0	0,0
Spalierlatten	3.1.01 Nadelnschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE)	m ³ (484,51 kg/m ³)	-735,1	724,6	10.994,9	3.1.01 Nadelnschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE)	m ³ (484,51 kg/m ³)	797,1	58,8	-8.285,9	-	-	0,0	0,0	0,0
Sparren	3.1.02 Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)	m ³ (492,92 kg/m ³)	-711,7	1.210,7	11.849,7	3.1.02 Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)	m ³ (492,92 kg/m ³)	810,1	53,7	-8.431,4	-	-	0,0	0,0	0,0
Sparschalung	3.1.01 Nadelnschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE)	m ³ (484,51 kg/m ³)	-735,1	724,6	10.994,9	3.1.01 Nadelnschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE)	m ³ (484,51 kg/m ³)	797,1	58,8	-8.285,9	-	-	0,0	0,0	0,0
Spanplatten	3.2.06 Spanplatte (Durchschnitt)	m ³ (mit 633,31 kg/m ³)	-873,6	4.827,2	23.582,0	3.2.06 Spanplatte (Durchschnitt)	m ³ (mit 633,31 kg/m ³)	1.268,5	16,1	25,3	-	-	0,0	0,0	0,0
Stahlbeton	97% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; 3% 4.1.02 Bewehrungsstahl	m ³ (2.400 kg/m ³); kg (7.850 kg/m ³)	333,6	2.956,8	4.023,6	97% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; -	m ³ (2.400 kg/m ³)	5,8	76,3	96,4	-	-	0,0	0,0	0,0

Stahlbeton B15-B25 (98/2)	98% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; 2% 4.1.02 Bewehrungsstahl	m³ (2.400 kg/m³); kg (7.850 kg/m³)	281,7	2.275,2	3.046,4	98% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; -	m³ (2.400 kg/m³)	5,9	77,1	97,4	-	-	0,0	0,0	0,0
Stahlbeton B15-B25 (97/3)	97% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; 3% 4.1.02 Bewehrungsstahl	m³ (2.400 kg/m³); kg (7.850 kg/m³)	333,6	2.956,8	4.023,6	97% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; -	m³ (2.400 kg/m³)	5,8	76,3	96,4	-	-	0,0	0,0	0,0
Stahlbeton B15-B25 (96/4)	96% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; 4% 4.1.02 Bewehrungsstahl	m³ (2.400 kg/m³); kg (7.850 kg/m³)	385,5	3.638,4	5.000,8	96% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; -	m³ (2.400 kg/m³)	5,8	75,6	95,4	-	-	0,0	0,0	0,0
Stahlbeton B15-B25 (95/5)	95% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; 5% 4.1.02 Bewehrungsstahl	m³ (2.400 kg/m³); kg (7.850 kg/m³)	437,3	4.320,1	5.978,0	95% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; -	m³ (2.400 kg/m³)	5,7	74,8	94,4	-	-	0,0	0,0	0,0
Stahlbeton B20 (66/4)	66% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; 4% 4.1.02 Bewehrungsstahl	m³ (2.400 kg/m³); kg (7.850 kg/m³)	332,1	3.364,8	4.673,2	66% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; -	m³ (2.400 kg/m³)	4,0	51,9	65,6	-	-	0,0	0,0	0,0
Stahlbeton C20/25 (99/1)	99% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; 1% 4.1.02 Bewehrungsstahl	m³ (2.400 kg/m³); kg (7.850 kg/m³)	229,9	1.593,6	2.069,2	99% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; -	m³ (2.400 kg/m³)	5,9	77,9	98,4	-	-	0,0	0,0	0,0
Stahlbeton C30/37 (98/2)	98% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 30/37; 2% 4.1.02 Bewehrungsstahl	m³ (2.400 kg/m³); kg (7.850 kg/m³)	321,9	2.459,5	3.254,2	98% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 30/37; -	m³ (2.400 kg/m³)	5,9	77,1	97,4	-	-	0,0	0,0	0,0
Stahlbetondecke	97% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; 3% 4.1.02 Bewehrungsstahl	m³ (2.400 kg/m³); kg (7.850 kg/m³)	333,6	2.956,8	4.023,6	97% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; -	m³ (2.400 kg/m³)	5,8	76,3	96,4	-	-	0,0	0,0	0,0
Stahlprofil	4.1.03 Stahlprofil	kg (7.850 kg/m³); m³	7.806,4	86.273,9	110.967,0	-	-	0,0	0,0	0,0	100.1.04 End of Life von Stahlprofilen	kg (7.850 kg/m³); m³	5,4	78,2	88,4
Stampfbeton B5-B20	1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	m³ (2.400 kg/m³)	178,0	912,0	1.092,0	1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	m³ (2.400 kg/m³)	6,0	78,7	99,4	-	-	0,0	0,0	0,0
Steinkohleschlacke	1.2.08 Steinkohleflugasche	kg (905 kg/m³); m³	0,0	0,0	0,0	100.1.01 Bauschuttufbereitung	kg; m³	2,4	46,7	50,8	-	-	0,0	0,0	0,0
Steinwolle	2.1.01 Mineralwolle (Boden-Dämmung)	m³ (85 kg/m³)	407,9	37.126,6	37.976,7	2.1.01 Mineralwolle (Boden-Dämmung)	m³ (85 kg/m³)	0,0	0,0	0,0	2.1.01 Mineralwolle (Boden-Dämmung)	m³ (85 kg/m³)	79,3	1.245,2	1.332,7
Strukturierte Trennlage (Kunststofffaservlies)	6.6.04 PE/PP-Vlies	m² (0,5 kg/m²; 396 kg/m³); m³	998,3	35.093,7	37.250,4	6.6.04 PE/PP-Vlies	m² (0,5 kg/m²; 396 kg/m³); m³	1.492,3	240,6	290,0	-	-	0,0	0,0	0,0
Trockenestrich	1.3.14 Trockenestrich (Gipskartonplatte) (Dicke 0,025 m)	m² (800 kg/m³); m³	124,8	2.727,7	3.514,1	-	-	0,0	0,0	0,0	1.3.14 Trockenestrich (Gipskartonplatte) (Dicke 0,025 m)	m²; m³	12,1	176,1	199,2
Unterdeckbahn	6.6.01 Unterspannbahn PE gewebeverstärkt (Dicke 0,00015 m)	m³ (262 kg/m³)	2.837,5	73.038,7	78.975,3	6.6.01 Unterspannbahn PE gewebeverstärkt (Dicke 0,00015 m)	m³ (262 kg/m³)	2.102,9	347,5	422,1	-	-	0,0	0,0	0,0
Vegetationssubstrat, 750 kg/m³	1.3.19 Vegetationssubstrat	kg (750 kg/m³); m³	-35,2	1.124,6	2.740,9	1.3.19 Vegetationssubstrat	kg (750 kg/m³); m³	5,5	91,4	101,2	-	-	0,0	0,0	0,0

A.5 Übersicht zu den verwendeten Datensätzen je Material

Verbundestrich	1.4.03 Zementestrich	kg (2.400 kg/m³); m³	440,5	2.901,4	3.547,4	-	-	0,0	0,0	0,0	1.4.03 Zementestrich	kg (2.400 kg/m³); m³	36,0	525,7	594,7
Vergussbeton B5	1.4.02 Zementmörtel	m³ (2.000 kg/m³)	345,1	1.159,4	1.419,3	-	-	0,0	0,0	0,0	1.4.02 Zementmörtel	m³ (2.000 kg/m³)	29,3	427,7	483,8
Vollziegel	75% 1.3.02 Mauerziegel; 25% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (575 kg/m³); m³ (2.000 kg/m³)	190,0	1.261,1	1.522,1	75% 1.3.02 Mauerziegel	m³ (575 kg/m³)	-7,5	21,2	22,4	75% 1.3.02 Mauerziegel; 25% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (575 kg/m³); m³ (2.000 kg/m³)	7,6	110,2	124,5
Vollziegel/Mörtel	75% 1.3.02 Mauerziegel; 25% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (575 kg/m³); m³ (2.000 kg/m³)	190,0	1.261,1	1.522,1	75% 1.3.02 Mauerziegel	m³ (575 kg/m³)	-7,5	21,2	22,4	75% 1.3.02 Mauerziegel; 25% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (575 kg/m³); m³ (2.000 kg/m³)	7,6	110,2	124,5
Vorhangfassade (Annahme: Laubholz, natur)	3.1.01 Laubschnittholz - getrocknet	m³ (761,6 kg/m³)	-1.120,2	1.453,3	24.313,3	3.1.01 Laubschnittholz - getrocknet	m³ (761,6 kg/m³)	1.250,4	58,8	-13.080,4	-	-	0,0	0,0	0,0
Vorhangfassade (Faserzementplatten)	1.3.12 Faserzementplatte	m² (13 kg/m²; 1.300 kg/m³); m³	699,3	7.695,6	12.596,5	-	-	0,0	0,0	0,0	1.3.12 Faserzementplatte	m² (13 kg/m²; 1.300 kg/m³); m³	2.930,2	42.770,0	48.383,6
Vorhangfassade (Holzverschalung, lackiert)	99,6 % 3.1.01 Nadel-schnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE); 0,4 % 5.6.02 Lacksysteme Holzfassade halbpigmentiert	m³ (484,51 kg/m³); kg (1.040 kg/m³); m³	-720,7	980,1	11.226,5	99,6 % 3.1.01 Nadel-schnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE); 0,4 % 5.6.02 Lacksysteme Holzfassade halbpigmentiert	m³ (484,51 kg/m³); kg (1.040 kg/m³); m³	797,4	61,4	-8.249,3	-	-	0,0	0,0	0,0
Vormauerschale (Kalksand-Vollstein)	75% 1.3.01 Kalksandstein; 25% 1.4.02 Zementmörtel	t (1.800 kg/m³); m³ (2.000 kg/m³); m³	269,9	1.635,8	1.937,0	75% 100.1.01 Bau-schuttaufbereitung	kg; m³	3,6	69,6	75,8	25% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (2.000 kg/m³)	7,3	106,9	121,0
Vormauerziegel	75% 1.3.02 Vormauerziegel; 25% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (1.800 kg/m³); m³ (2.000 kg/m³)	482,7	6.402,9	6.899,0	75% 1.3.02 Vormauerziegel	m³ (1.800 kg/m³)	9,9	164,5	182,2	25% 1.4.02 Zementmörtel	m³ (2.000 kg/m³)	7,3	106,9	121,0
WDG, zweifach	7.2.01 Isolierglas 2-Scheiben	m² (20,5 kg/m²)	37,0	445,9	482,7	7.2.01 Isolierglas 2-Scheiben	m² (20,5 kg/m²)	1,5	0,7	0,9	7.2.01 Isolierglas 2-Scheiben	m² (20,5 kg/m²)	0,3	4,8	5,4
WDG, dreifach	7.2.01 Dreifachverglasung (Dicke: 0,036 m)	m² (30 kg/m² mit 833,3 kg/m³)	57,8	713,6	776,5	7.2.01 Dreifachverglasung (Dicke: 0,036 m)	m² (30 kg/m² mit 833,3 kg/m³)	3,0	1,4	1,8	7.2.01 Dreifachverglasung (Dicke: 0,036 m)	m² (30 kg/m² mit 833,3 kg/m³)	0,5	7,2	8,1
WDVS Verklebung und Beschichtung	2.21.01 WDVS Verklebung und Beschichtung Kratzputz mineralisch	m² (35,18 kg/m²; ca. 1.759 kg/m³); m³	492,2	4.077,9	5.135,8	2.21.01 WDVS Verklebung und Beschichtung Kratzputz mineralisch	m² (35,18 kg/m²; ca. 1.759 kg/m³); m³	0,0	0,0	0,0	2.21.01 WDVS Verklebung und Beschichtung Kratzputz mineralisch	m² (35,18 kg/m²; ca. 1.759 kg/m³)	26,4	385,2	435,8
WDVS Verklebung und Beschichtung nach Sanierung innenliegend	2.21.01 WDVS Verklebung und Beschichtung Kratzputz mineralisch	m² (35,18 kg/m²; ca. 1.759 kg/m³); m³	492,2	4.077,9	5.135,8	-	-	0,0	0,0	0,0	2.21.01 WDVS Verklebung und Beschichtung Kratzputz mineralisch	m² (35,18 kg/m²; ca. 1.759 kg/m³)	26,4	385,2	435,8
Winddichtheitsbahn	6.6.01 Unterspannbahn PE gewebeverstärkt (Dicke 0,00015 m)	m³ (262 kg/m³)	2.837,5	73.038,7	78.975,3	6.6.01 Unterspannbahn PE gewebeverstärkt (Dicke 0,00015 m)	m³ (262 kg/m³)	2102,9	347,5	422,1	-	-	0,0	0,0	0,0
Zellulosefaser-Einblasdämmung	2.11.01 Zellulose-Einblas-Dämmung	m³ (45 kg/m³)	-73,4	94,8	932,0	2.11.01 Zellulose-Einblas-Dämmung	m³ (45 kg/m³)	99,1	1,0	1,6	-	-	0,0	0,0	0,0
Zementestrich	1.4.03 Zementestrich	kg (2.400 kg/m³); m³	440,5	2.901,4	3.547,4	-	-	0,0	0,0	0,0	1.4.03 Zementestrich	kg (2.400 kg/m³); m³	36,0	525,7	594,7

Ziegel/Mörtel	75% 1.3.02 Mauerziegel; 25% 1.4.02 Zementmörtel	m ³ (575 kg/m ³); m ³ (2.000 kg/m ³)	190,0	1.261,1	1.522,1	75% 1.3.02 Mauerziegel	m ³ (575 kg/m ³)	-7,5	21,2	22,4	75% 1.3.02 Mauerziegel; 25% 1.4.02 Zementmörtel	m ³ (575 kg/m ³); m ³ (2.000 kg/m ³)	7,6	110,2	124,5
Ziegelmauerwerk	75% 1.3.02 Mauerziegel; 25% 1.4.02 Zementmörtel	m ³ (575 kg/m ³); m ³ (2.000 kg/m ³)	190,0	1.261,1	1.522,1	75% 1.3.02 Mauerziegel	m ³ (575 kg/m ³)	-7,5	21,2	22,4	75% 1.3.02 Mauerziegel; 25% 1.4.02 Zementmörtel	m ³ (575 kg/m ³); m ³ (2.000 kg/m ³)	7,6	110,2	124,5
Ziegelmauerwerk Fundament	75% 1.3.02 Mauerziegel; 25% 1.4.02 Zementmörtel	m ³ (575 kg/m ³); m ³ (2.000 kg/m ³)	190,0	1.261,1	1.522,1	75% 1.3.02 Mauerziegel	m ³ (575 kg/m ³)	-7,5	21,2	22,4	75% 1.3.02 Mauerziegel; 25% 1.4.02 Zementmörtel	m ³ (575 kg/m ³); m ³ (2.000 kg/m ³)	7,6	110,2	124,5
Ziegelpflaster	75% 1.3.02 Vormauerziegel; 25% 1.4.02 Zementmörtel	m ³ (1.800 kg/m ³); m ³ (2.000 kg/m ³)	482,7	6.402,9	6.899,0	75% 1.3.02 Vormauerziegel	m ³ (1.800 kg/m ³)	9,9	164,5	182,2	25% 1.4.02 Zementmörtel	m ³ (2.000 kg/m ³)	7,3	106,9	121,0
Ziegelsplittbeton	1.3.05 Beton-Mauersteine	m ³ (2.000 kg/m ³)	242,4	1.181,2	1.494,6	1.3.05 Beton-Mauersteine	m ³ (2.000 kg/m ³)	13,5	223,4	247,5	-	-	0,0	0,0	0,0
Zinkblech	4.1.04 Stahl Feinblech (20µm bandverzinkt)	kg (7.850 kg/m ³); m ³	21.008,8	201.683,8	217.395,7	-	-	0,0	0,0	0,0	100.1.04 End of Life von verzinktem Stahl	kg (7.850 kg/m ³); m ³	5,4	78,2	88,4

Tabelle A. 10: Materialspezifisch verwendete ÖKOBAUDAT-Datensätze (Version 2020-II) und Umweltwirkungen der Phase D, durchschnittliche Nutzungsdauer und Austauschzyklen in 50 Jahren; eigene Darstellung

Materialbezeichnung	Datensatz D	Bezugseinheiten	GWP D [kg CO ₂ -Äq.]	PENRT D [MJ]	PET D [MJ]	Durchschnittliche Nutzungsdauer [Jahren]	Austauschzyklen in 50 Jahren
Aluminium-Blendrahmen	7.1.05 Aluminium-Rahmenprofil, pulverbeschichtet	m (1.02 kg/m)	-8,0	-107,0	-142,1	50	0
Aluminium-Flügelrahmen	7.1.05 Aluminium-Flügelrahmenprofil, pulverbeschichtet	m (0.98 kg/m)	-7,7	-102,8	-136,5	50	0
Aluminium-Blendrahmen, thermisch getrennt	7.1.06 Aluminium-Rahmenprofil, thermisch getrennt, pulverbeschichtet	m (1.43 kg/m)	-9,5	-126,8	-168,4	50	0
Aluminium-Flügelrahmen, thermisch getrennt	7.1.06 Aluminium-Flügelrahmenprofil, thermisch getrennt, pulverbeschichtet	m (1.51 kg/m)	10,4	-138,8	-184,3	50	0
Asbestzementplatte	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Ausgleichsestrich	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Außenputz	-	-	0,0	0,0	0,0	45	1
Außenputz, nach Sanierung innenliegend	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Beton B5-B20	1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	m ³ (2400 kg/m ³)	-21,4	-279,0	-373,1	50	0
Betonfertigteile B20	1.3.05 Betonfertigteile Decke 20cm	m ² (504 kg/m ² mit 2520 kg/m ³); m ³	-4,9	-65,8	-84,5	50	0
Betondachstein	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Betondecke (99/1)	99% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; -	m ³ (2400 kg/m ³)	-21,2	-276,2	-369,4	50	0
Betondecke (97/3)	97% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; -	m ³ (2400 kg/m ³)	-20,8	-270,6	-361,9	50	0
Bewehrungsstahl	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Bimshohlblockstein	75% 1.3.04 Bims-Planstein (SFK-4); -	m ³ (900 kg/m ³)	-1,4	-18,5	-23,8	50	0

A.5 Übersicht zu den verwendeten Datensätzen je Material

Bimsvollsteine	75% 1.3.04 Bims-Planstein (SFK-4); -	m ³ (900 kg/m ³)	-1,4	-18,5	-23,8	50	0
Bitumenabdichtung	-	-	0,0	0,0	0,0	30	1
Bitumenbahn	-	-	0,0	0,0	0,0	30	1
Bitumenbahn, Decke	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Bitumendachbahn, besandet	-	-	0,0	0,0	0,0	30	1
Bitumendachbahn	-	-	0,0	0,0	0,0	30	1
Bitumendachpappe	-	-	0,0	0,0	0,0	30	1
Blecheindeckung (Edelstahl)	4.2.01 Edelstahlbleche	kg (7900 kg/m ³); m ³	-5.238,4	-64.238,7	-77.004,8	50	0
Bretter	3.1.01 Nadelschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE) thermische Verwertung (Standardszenario)	m ³ (484.51 kg/m ³)	-375,0	-4.988,9	1.468,2	50	0
Brettschichtholz	3.1.04 Brettschichtholz - Standardformen (Durchschnitt DE)	m ³ (507.11 kg/m ³)	-367,5	-5.635,4	997,2	50	0
Brettspertholz	3.1.05 Brettspertholz (Durchschnitt DE)	m ³ (489.41 kg/m ³)	-350,8	-5.324,7	1.090,7	50	0
Dielung/Bretterboden	3.1.01 Nadelschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE) thermische Verwertung (Standardszenario)	m ³ (484.51 kg/m ³)	-375,0	-4.988,9	1.468,2	50	0
Bruchsteinmauerwerk Fundament	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Dachabdichtung, wurzelfest	-	-	0,0	0,0	0,0	30	1
Dachziegel	1.3.10 Dachziegel	m ² (45 kg/m ² mit 2180 kg/m ³); m ³	-4,5	-59,8	-76,8	50	0
Dachziegel (Biberschwanz; ca. 70 kg/m ²)	1.3.10 Dachziegel	m ² (45 kg/m ² mit 2180 kg/m ³); m ³	-4,5	-59,8	-76,8	50	0
Dämmung AW (Holzwolle-WDVS)	2.7.01 Holzwolle-Leichtbauplatte	m ³ (360 kg/m ³)	-113,8	-1.215,7	-1.563,7	40	1
Dämmung AW (Holzwolle-VF)	2.7.01 Holzwolle-Leichtbauplatte	m ³ (360 kg/m ³)	-113,8	-1.215,7	-1.563,7	50	0
Dämmputz	-	-	0,0	0,0	0,0	40	1
Dämmung BO (unspezifisch)	2.7.01 Holzwolle-Leichtbauplatte	m ³ (360 kg/m ³)	-113,8	-1.215,7	-1.563,7	50	0
Dämmung Flachdach (EPS)	2.2.01 EPS-Hartschaum (Styropor®) für Decken/Böden und als Perimeterdämmung B/P-040	m ³ (18.5 kg/m ³)	-32,1	-490,0	-536,8	50	0
Dämmung KD, ältere BK	2.7.01 Holzwolle-Leichtbauplatte	m ³ (360 kg/m ³)	-113,8	-1.215,7	-1.563,7	50	0
Dämmung KD, jüngere BK	31% 2.2.01 EPS-Hartschaum (Styropor®) für Decken/Böden und als Perimeterdämmung B/P-040; 5% 2.10.01 Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)	m ³ (18.5 kg/m ³); m ³ (160 kg/m ³)	-14,4	-228,8	-265,3	50	0
Dämmung DE und OGD, ältere BK	2.7.01 Holzwolle-Leichtbauplatte	m ³ (360 kg/m ³)	-113,8	-1.215,7	-1.563,7	50	0
Dämmung DE und OGD, jüngere BK	31% 2.2.01 EPS-Hartschaum (Styropor®) für Decken/Böden und als Perimeterdämmung B/P-040; 5% 2.10.01 Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)	m ³ (18.5 kg/m ³); m ³ (160 kg/m ³)	-14,4	-228,8	-265,3	50	0
Deckenziegel (Zwischenraum mit Beton verfüllt)	69% 1.3.02 Mauerziegel	m ³ (575 kg/m ³)	-4,8	-70,8	-77,4	50	0
Doppelrömer	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Drainmatte, 2.8 kg/m ²	6.6.03 PE-Noppenfolie zur Abdichtung (Dicke 0,00125 m)	m ² (1.2 kg/m ² ; 960 kg/m ³); m ³	-1.637,4	-23.959,3	-30.811,4	30	1
Einfachverglasung	-	-	0,0	0,0	0,0	30	1
Estrich	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0

Estrich (Anhydrit)	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Estrichpapier	6.6.05 Kraftpapier	m ² (0,08 kg/m ² mit 800 kg/m ³); m ³	-579,0	-6.234,3	-8.018,8	50	0
Fensterbeschlag, Doppelflügel Fenster	7.4.02 Fenster-Beschlag für Doppelflügel Fenster	Stk (1.014 kg/Stk.); kg	-4,0	-53,5	-69,7	50	0
Fensterbeschlag, Drehkippen Fenster	7.4.02 Fenster-Beschlag für Drehkippen Fenster (Aluminium)	Stk (1.014 kg/Stk); kg	-7,9	-102,9	-129,4	25	1
Fenstergriff	7.4.07 Fenstergriff	Stk (0.1 kg/Stk); kg	-1,1	-15,8	-20,8	25	1
Filtervlies, PP	6.6.04 PE/PP-Vlies	m ² (0.5 kg/m ² ; 396 kg/m ³); m ³	-675,4	-9.883,2	-12.709,7	30	1
Flachstahl	4.1.03 Stahlprofil	kg (7850 kg/m ³); m ³	-1.750,5	-13.237,8	-11.727,4	50	0
Flachdachdämmung (unspezifisch)	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Fliesen	90% 1.3.07 Steinzeugfliesen unglasiert; 10% Fliesenkleber	m ² (20 kg/m ² mit 2000 kg/m ³); kg (1500 kg/m ³); m ³	-4,1	-55,6	-71,4	50	0
Fugendichtungsband	7.3.04 Fugendichtungsbander Gewebefäden	kg (339 kg/m ³)	-0,7	-10,8	-13,9	20	2
Füllkörper aus Bimsstein	69% 1.3.04 Bims-Planstein (SFK-4); -	m ³ (900 kg/m ³)	-1,3	-17,0	-21,9	50	0
Gasbeton(block/-steine)	90% 1.3.03 Porenbeton P4 05 unbewehrt; -	m ³ (472 kg/m ³)	-0,9	-11,6	-15,0	50	0
Gipsfaserplatte	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Gipskartonplatte	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
GKF-Platte	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Glasvlies Dach	-	-	0,0	0,0	0,0	20	2
Glasvlies Decke	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Glattputz (Kalkzement)	-	-	0,0	0,0	0,0	45	1
Glattputz (Kalkzement), nach Sanierung innenliegend	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Grundierung (Bitumenvoranstrich, lösemittelhaltig)	-	-	0,0	0,0	0,0	40	1
Hartfaserplatte	3.2.07 Hochdichte Faserplatte (Durchschnitt DE) - thermische Verwertung (Standardszenario)	m ³ (849.9 kg/m ³)	-255,3	-8.149,6	-1.179,0	50	0
Hohlblockstein (75/25)	75% 1.3.04 Blähton LB Planstein Außenwand; -	m ³ (501 kg/m ³)	-0,8	-10,3	-13,2	50	0
Hohlblockstein (90/10)	90% 1.3.04 Blähton LB Planstein Außenwand; -	m ³ (501 kg/m ³)	-0,9	-12,3	-15,9	50	0
Hohlziegel	1.3.02 Mauerziegel; -	m ³ (575 kg/m ³)	-7,0	-102,6	-112,1	50	0
Hochlochziegel (75/25)	75% 1.3.02 Mauerziegel; -	m ³ (575 kg/m ³)	-5,3	-76,9	-84,1	50	0
Hochlochziegel (90/10)	90% 1.3.02 Mauerziegel; -	m ³ (575 kg/m ³)	-6,3	-92,3	-100,9	50	0
Hochlochziegel (98/2)	98% 1.3.02 Mauerziegel; -	m ³ (575 kg/m ³)	-6,9	-100,5	-109,9	50	0
Hochlochziegel (99,6/0,4)	99,6% 1.3.02 Mauerziegel; -	m ³ (575 kg/m ³)	-7,0	-102,2	-111,7	50	0
Hochlochziegel (51,6/48/0,4), Trennwand	51,6% 1.3.02 Mauerziegel; 48% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C20/25; -	m ³ (575 kg/m ³); m ³ (2.400 kg/m ³)	-13,9	-186,9	-236,9	50	0
Hochlochziegel, Dämmstoff gefüllt (99,6/0,4)	99,6% 1.3.02 Mauerziegel (Dämmstoff gefüllt); -	m ³ (575 kg/m ³)	-6,9	-101,4	-110,8	50	0
Hochofenschlacke	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Holzbalken	3.1.02 Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)	m ³ (492.92 kg/m ³)	-377,9	-5.081,7	1.457,8	50	0

A.5 Übersicht zu den verwendeten Datensätzen je Material

Holzbalken mit Steinkohleschlacke	-; 8% 3.1.02 Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)	m ³ (492.92 kg/m ³)	-30,2	-406,5	116,6	50	0
Holz-Blendrahmen	7.1.01 Holz-Blendrahmen	m (2.11 kg/m mit ca. 520 kg/m ³)	-1,6	-24,7	-32,0	40	1
Holzeinschub	3.1.01 Nadelschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE) thermische Verwertung (Standardszenario)	m ³ (484.51 kg/m ³)	-375,0	-4.988,9	1.468,2	50	0
Holzfaserdämmplatte (VF)	2.10.01 Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)	m ³ (160 kg/m ³)	-88,7	-1.537,8	-1.978,0	50	0
Holzfaserdämmplatte (DA)	2.10.01 Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)	m ³ (160 kg/m ³)	-88,7	-1.537,8	-1.978,0	50	0
Holzfaserdämmung (Innenausbau)	2.10.01 Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)	m ³ (160 kg/m ³)	-88,7	-1.537,8	-1.978,0	50	0
Holzfaserdämmung (TSD)	2.10.01 Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)	m ³ (160 kg/m ³)	-88,7	-1.537,8	-1.978,0	50	0
Holz-Flügelrahmen	7.1.01 Holz-Flügelrahmen	m (2.11 kg/m mit ca. 520 kg/m ³)	-1,6	-24,8	-32,1	40	1
Holznagelbinder	3.1.02 Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)	m ³ (492.92 kg/m ³)	-377,9	-5.081,7	1.457,8	50	0
Holzständer (Eiche)/Gefach: Lehmstaken	30% 3.1.02 Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE); 35% 1.3.17 Stampflehwand; 35% 2.23.01 FASBA e.V. Baustroh 100 kg/m ³	m ³ (492.92 kg/m ³); m ³ (2000 kg/m ³); m ³ (100 kg/m ³)	-114,4	-1.538,6	422,4	50	0
Holzständer (Eiche)/Gefach: Lehmstein	18% 3.1.02 Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE); 62% 1.3.17 Lehmstein;	m ³ (492.92 kg/m ³); m ³ (1200 kg/m ³)	-69,1	-929,7	246,5	50	0
Holzständer (Eiche)/Gefach: Ziegel	18% 3.1.02 Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE); 62% 1.3.02 Mauerziegel; -	m ³ (492.92 kg/m ³); m ³ (575 kg/m ³)	-72,4	-978,3	192,9	50	0
Holzständer/Vollziegel/Mörtel	18% 3.1.02 Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE); 62% 1.3.02 Mauerziegel; -	m ³ (492.92 kg/m ³); m ³ (575 kg/m ³)	-72,4	-978,3	192,9	50	0
Holzwolle-Leichtbauplatte	2.7.01 Holzwolle-Leichtbauplatte	m ³ (360 kg/m ³)	-113,8	-1.215,7	-1.563,7	50	0
Holzwolle-Leichtbauplatte mit Polystyrolkern	50% 2.7.01 Holzwolle-Leichtbauplatte; 50% 2.2.01 EPS-Hartschaum (Styropor ®) für Wände und Dächer W/D-040	m ³ (360 kg/m ³); m ³ (18 kg/m ³)	-72,5	-846,3	-1.043,2	50	0
Hourdis-Stein (Hohlziegel)	1.3.02 Mauerziegel	m ³ (575 kg/m ³)	-7,0	-102,6	-112,1	50	0
Innenputz	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Isolierverglasung	-	-	0,0	0,0	0,0	30	1
Kalksandstein (99,2/0,8)	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Kalksandstein (95/5)	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Kalksandstein (75/25)	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Kalkgipsputz	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Kalkzementputz	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Kantholz	3.1.01 Nadelschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE) thermische Verwertung (Standardszenario)	m ³ (484.51 kg/m ³)	-375,0	-4.988,9	1.468,2	50	0
Kappendecke aus Beton (mit Stahlträgern)	95,5% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; 1,5% 4.1.03 Stahlprofil	m ³ (2400 kg/m ³); kg (7850 kg/m ³)	-46,7	-465,0	-532,2	50	0
Kappendecke aus Vollziegel (mit Stahlträgern)	74% 1.3.02 Mauerziegel; 1,5% 4.1.03 Stahlprofilen	m ³ (575 kg/m ³); kg (7850 kg/m ³); kg (7850 kg/m ³); m ³	-5,2	-75,9	-83,0	50	0
Kies	1.2.01 Kies 2/32 getrocknet	kg (1850 kg/m ³); m ³	-3,8	-50,7	-65,2	30	1
Kies unter Bodenplatte	1.2.01 Kies 2/32 getrocknet	kg (1850 kg/m ³); m ³	-3,8	-50,7	-65,2	50	0

Konstruktionsvollholz	3.1.02 Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)	m ³ (492.92 kg/m ³)	-377,9	-5.081,7	1.457,8	50	0
Konterlattung	3.1.01 Nadelstnhholz - getrocknet (Durchschnitt DE) thermische Verwertung (Standardszenario)	m ³ (484.51 kg/m ³)	-375,0	-4.988,9	1.468,2	50	0
Kunststoffbahn	6.6.03 Dampfbremse PE (Dicke 0,0002 m)	m ² (0.2 kg/m ² mit 930 kg/m ³); m ³	-1.276,2	-18.675,1	-24.016,1	30	1
Kunststoff-Blendrahmen	7.1.09 Blendrahmen PVC-U	m (2.8 kg/m)	-3,2	-30,6	-32,1	40	1
Kunststoff-Flügelrahmen	7.1.09 Flügelrahmen PVC-U	m (3.1 kg/m)	-3,4	-33,5	-35,9	40	1
Lagerhölzer	6% 3.1.01 Nadelstnhholz - getrocknet (Durchschnitt DE)	m ³ (484.51 kg/m ³)	-22,5	-299,3	88,1	50	0
Lagerhölzer mit Sandschüttung	8% 3.1.02 Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE); 92% 1.2.01 Sand 0/2 getrocknet	m ³ (492.92 kg/m ³); kg (1350 kg/m ³); m ³	-32,8	-440,6	72,9	50	0
Lagerhölzer mit Schlackenfüllung	8% 3.1.02 Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)	m ³ (492.92 kg/m ³)	-30,2	-406,5	116,6	50	0
Lattung	3.1.01 Nadelstnhholz - getrocknet (Durchschnitt DE) thermische Verwertung (Standardszenario)	m ³ (484.51 kg/m ³)	-375,0	-4.988,9	1.468,2	50	0
Lehmputz innen	1.4.04 Lehmputz	m ³ (900 kg/m ³)	-3,9	-55,9	-67,4	50	0
Lehmputz außen	1.4.04 Lehmputz	m ³ (900 kg/m ³)	-3,9	-55,9	-67,4	40	1
Lehmputz außen, nach Sanierung innenliegend	1.4.04 Lehmputz	m ³ (900 kg/m ³)	-3,9	-55,9	-67,4	50	0
Lehmschlag	75% 1.4.04 Lehmputz; 25% 2.23.01 FASBA e.V. Baustroh 100 kg/m ³	m ³ (900 kg/m ³); m ³ (100 kg/m ³)	-2,9	-41,9	-50,5	50	0
Lehmschüttung	1.4.04 Lehmputz	m ³ (900 kg/m ³)	-3,9	-55,9	-67,4	50	0
Lehmwickel	69% 71.4.04 Lehmputz; 23% 2.23.01 FASBA e.V. Baustroh 100 kg/m ³ ; 8% 3.1.01 Schnittholz Eiche (12% Feuchte/10.7% H ₂ O)	m ³ (900 kg/m ³); m ³ (100 kg/m ³); m ³ (716.8 kg/m ³)	-32,9	-445,1	70,1	50	0
Leichtbeton	90% 1.3.04 Blähton LB Planstein Außenwand; -	m ³ (501 kg/m ³)	-0,9	-12,3	-15,9	50	0
Leichtlochziegel	96% 1.3.02 Mauerziegel; -	m ³ (575 kg/m ³)	-6,7	-98,5	-107,6	50	0
Luftschicht, ruhend	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Luftschicht, ruhend (30% einbindende Kalksandsteine angenommen)	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Luftschicht, ruhend (30% einbindende Mauerziegel angenommen)	30% 1.3.02 Mauerziegel	m ³ (575 kg/m ³)	-2,1	-30,8	-33,6	50	0
Luftschicht, ruhend (30% einbindende Porenbetonsteine angenommen)	30% 1.3.03 Porenbeton P4 05 unbewehrt	m ³ (380 kg/m ³)	-0,3	-3,9	-5,0	50	0
Luftschicht, ruhend (30% einbindende Ziegelsplittbetonsteine angenommen)	30% 1.3.05 Beton-Mauersteine	m ³ (2000 kg/m ³)	-1,2	-16,4	-21,1	50	0
Luftschicht, stark belüftet	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
MDF-Platte	3.2.07 MDF (Roh)	m ³ (700 kg/m ³)	-357,0	-6.488,1	-7.258,5	50	0
Mineralwolle (Außenwand)	-	-	0,0	0,0	0,0	40	1
Mineralwolle (Boden)	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Mineralwolle (Flachdach)	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Mineralwolle (Innenausbau)	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Mineralwolle (Schrägdach)	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0

A.5 Übersicht zu den verwendeten Datensätzen je Material

Mineralwolle (VF)	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Natursteinmauerwerk	75% 1.3.08 Natursteinplatte, hart, Außenbereich (Dicke 0,080 m); -	m ² (208 kg/m ² ; 2600 kg/m ³); m ³	-4,0	-53,4	-68,7	50	0
Noppenbahn	6.6.03 PE-Noppenfolie zur Abdichtung (Dicke 0.00125 m)	m ² (960 kg/m ³); m ³	-1.637,4	-23.959,3	-30.811,4	40	1
Normalbeton	1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	m ³ (2400 kg/m ³)	-21,4	-279,0	-373,1	50	0
Ortbeton	1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	m ³ (2400 kg/m ³)	-21,4	-279,0	-373,1	50	0
Ortbetondecke	97% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; -	m ³ (2400 kg/m ³)	-20,8	-270,6	-361,9	50	0
OSB-Platte	3.2.04 Oriented Strand Board (Durchschnitt DE)	m ³ (600 kg/m ³)	-369,9	-7.810,6	88,0	50	0
Pappe	6.6.05 Kraftpapier	m ² (0,08 kg/m ² mit 800 kg/m ³); m ³	-579,0	-6.234,3	-8.018,8	50	0
PE-Folie Bodenplatte	6.6.03 Dampfbremse PE (Dicke 0,0002 m)	m ² (0.2 kg/m ² mit 930 kg/m ³); m ³	-1.276,2	-18.675,1	-24.016,1	50	0
PE-Folie Dach	6.6.03 Dampfbremse PE (Dicke 0,0002 m)	m ² (0.2 kg/m ² mit 930 kg/m ³); m ³	-1.276,2	-18.675,1	-24.016,1	30	1
PE-Folie Decke	6.6.03 Dampfbremse PE (Dicke 0,0002 m)	m ² (0.2 kg/m ² mit 930 kg/m ³); m ³	-1.276,2	-18.675,1	-24.016,1	50	0
PE-Folie Wand	6.6.03 Dampfbremse PE (Dicke 0,0002 m)	m ² (0.2 kg/m ² mit 930 kg/m ³); m ³	-1.276,2	-18.675,1	-24.016,1	50	0
PE-HD-Flächenabdichtung	6.6.03 PE-HD mit PP-Vlies zu Abdichtung	m ² (1.3 kg/m ² ; ca. 1067 kg/m ³); m ³	-1.798,9	-26.323,6	-33.852,0	40	1
Polystyrolämmung Decke und Boden, EPS, WLS 040	2.2.01 EPS-Hartschaum (Styropor®) für Decken/Böden und als Perimeterdämmung B/P-040	m ³ (18.5 kg/m ³)	-32,1	-490,0	-536,8	50	0
Polystyrolämmung Decke und Boden, EPS, WLS 035	2.2.01 EPS-Hartschaum (Styropor®) für Decken/Böden und als Perimeterdämmung B/P-035	m ³ (25.9 kg/m ³)	-45,2	-690,0	-756,0	50	0
Polystyrolämmung Flachdach, EPS 035	2.2.01 EPS-Hartschaum (Styropor®) für Decken/Böden und als Perimeterdämmung B/P-035	m ³ (25.9 kg/m ³)	-45,2	-690,0	-756,0	50	0
Polystyrolämmung Wand und Dach, EPS	2.2.01 EPS-Hartschaum (Styropor®) für Wände und Dächer W/D-040	m ³ (18.0 kg/m ³)	-31,3	-477,0	-522,7	50	0
Polystyrolämmung, XPS (AW)	2.3.01 XPS-Dämmstoff	m ³ (32 kg/m ³)	-49,5	-724,5	-931,6	50	0
Polystyrolämmung, XPS (BO)	2.3.01 XPS-Dämmstoff	m ³ (32 kg/m ³)	-49,5	-724,5	-931,6	50	0
Polystyrolämmung, XPS (DA)	2.3.01 XPS-Dämmstoff	m ³ (32 kg/m ³)	-49,5	-724,5	-931,6	50	0
Polystyrolämmung, XPS (KW)	2.3.01 XPS-Dämmstoff	m ³ (32 kg/m ³)	-49,5	-724,5	-931,6	40	1
Porenbeton	1.3.03 Porenbeton P4 05 unbewehrt	m ³ (380 kg/m ³)	-1,0	-12,9	-16,6	50	0
Porenbeton P2 04 (99,2/0,8)	99.2% 1.3.03 Porenbeton P2 04 unbewehrt	m ³ (380 kg/m ³)	-0,8	-10,3	-13,3	50	0
Porenbeton P4 05 (95/5)	95% 1.3.03 Porenbeton P4 05 unbewehrt	m ³ (380 kg/m ³)	-0,9	-12,3	-15,8	50	0
Profilbretter	3.3.01 Nadelschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE) thermische Verwertung (Standardszenario)	m ³ (484.51 kg/m ³)	-375,0	-4.988,9	1.468,2	50	0
PVC-Dachbahn	6.3.02 PVC-Dachbahnen (Dicke 0.0012 m)	m ² (1250 kg/m ³); m ³	-834,1	-12.226,5	-15.672,3	20	2
Reetdach	2.23.01 FASBA e.V. Baustroh 100 kg/m ³	m ³ (100 kg/m ³)	0,0	0,0	0,0	30	1
Sand/Lehm/Schlacke	34% 1.2.01 Sand 0/2 getrocknet; 33% 1.4.04 Lehmputz	kg (1350 kg/m ³); m ³ (900 kg/m ³); m ³	-2,2	-31,0	-38,4	50	0

Sandschüttung	1.2.01 Sand 0/2 getrocknet	kg (1350 kg/m³); m³	-2,8	-37,0	-47,6	50	0
Sauberkeitsschicht	1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	m³ (2400 kg/m³)	-21,4	-279,0	-373,1	50	0
Schalsteine mit Betonfüllung B15	51% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; 49% 1.3.05 Beton-Mauersteine	m³ (2400 kg/m³); m³ (2000 kg/m³)	-12,9	-169,2	-224,8	50	0
Schalung	3.1.01 Nadelholz - getrocknet (Durchschnitt DE) thermische Verwertung (Standardszenario)	m³ (484.51 kg/m³)	-375,0	-4.988,9	1.468,2	50	0
Schaumglas	2.6.01 FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+	kg (100.0 kg/m³); m³	-1,0	-21,9	-22,8	50	0
Schaumpolystyrol-Gefällebeton	2.2.01 Schüttung aus Polystyrolschaumstoff-Partikeln (zementgebunden)	m³ (350 kg/m³)	-43,3	-634,0	-815,2	50	0
Schiefer/Ziegel/Biber	20% 1.3.09 Schiefer; 80% 1.3.10 Dachziegel	m² (30kg/m²; 2727 kg/m³); m² (63.75 kg/m²; 2180 kg/m³); m³	-3,6	-48,7	-62,6	50	0
Schiefersplitt in Bitumenemulsion	-	-	0,0	0,0	0,0	20	2
Schieferverkleidung	1.3.09 Schiefer	m² (30kg/m²; 2727 kg/m³); m³	-5,6	-74,7	-96,1	50	0
Schilfrohrmatte	2.23.01 FASBA e.V. Baustroh 100 kg/m³	m³ (100 kg/m³)	0,0	0,0	0,0	50	0
Schilfrohrträger	2.23.01 FASBA e.V. Baustroh 100 kg/m³	m³ (100 kg/m³)	0,0	0,0	0,0	50	0
Schlackenschüttung/-füllung	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Schrägdachdämmung (unspezifisch)	-; 50% 2.2.01 EPS-Hartschaum (Styropor®) für Wände und Dächer W/D-040	-	-15,7	-238,5	-261,4	50	0
Schutzvlies, 300 g/m²	6.6.04 PE/PP-Vlies	m² (0.5 kg/m²; 396 kg/m³); m³	-675,4	-9.883,2	-12.709,7	30	1
Schüttung, Perlite 0-3	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Schüttung, Porenbetongranulat	1.3.03 Porenbeton Granulat	m³ (400 kg/m³)	-0,8	-11,0	-14,1	50	0
Schwerbeton	1.3.05 Betonfertigteil Wand 12 cm	m² (291.3 kg/m²; 2427.5 kg/m³); m³	-4,9	-65,4	-84,0	50	0
Schwimmender Estrich	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Sichtbeton	97% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; -	m³ (2400 kg/m³)	-20,8	-270,6	-361,9	50	0
Spalierlatten	3.1.01 Nadelholz - getrocknet (Durchschnitt DE) thermische Verwertung (Standardszenario)	m³ (484.51 kg/m³)	-375,0	-4.988,9	1.468,2	50	0
Sparren	3.1.02 Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)	m³ (492.92 kg/m³)	-377,9	-5.081,7	1.457,8	50	0
Sparschalung	3.1.01 Nadelholz - getrocknet (Durchschnitt DE) thermische Verwertung (Standardszenario)	m³ (484.51 kg/m³)	-375,0	-4.988,9	1.468,2	50	0
Spanplatten	3.2.06 Spanplatte (Durchschnitt)	m³ (mit 633.31 kg/m³)	-2,9	-5.619,2	-7.303,4	50	0
Stahlbeton	97% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; -	m³ (2400 kg/m³)	-20,8	-270,6	-361,9	50	0
Stahlbeton B15-B25 (98/2)	98% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; -	m³ (2400 kg/m³)	-21,0	-273,4	-365,6	50	0
Stahlbeton B15-B25 (97/3)	97% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; -	m³ (2400 kg/m³)	-20,8	-270,6	-361,9	50	0
Stahlbeton B15-B25 (96/4)	96% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; -	m³ (2400 kg/m³)	-20,5	-267,8	-358,2	50	0
Stahlbeton B15-B25 (95/5)	95% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; -	m³ (2400 kg/m³)	-20,3	-265,1	-354,4	50	0
Stahlbeton B20 (66/4)	66% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; -	m³ (2400 kg/m³)	-14,1	-184,1	-246,2	50	0
Stahlbeton C20/25 (99/1)	99% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; -	m³ (2400 kg/m³)	-21,2	-276,2	-369,4	50	0

A.5 Übersicht zu den verwendeten Datensätzen je Material

Stahlbeton C30/37 (98/2)	98% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 30/37; -	m ³ (2400 kg/m ³)	-21,0	-273,4	-365,6	50	0
Stahlbetondecke	97% 1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; -	m ³ (2400 kg/m ³)	-20,8	-270,6	-361,9	50	0
Stahlprofil	4.1.03 Stahlprofil	kg (7850 kg/m ³); m ³	-1.750,5	-13.237,8	-11.727,4	50	0
Stampfbeton B5-B20	1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	m ³ (2400 kg/m ³)	-21,4	-279,0	-373,1	50	0
Steinkohleschlacke	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
-	-	-	0,0	0,0	50,0	50	0
Strukturierte Trennlage (Kunststoffaservlies)	6.6.04 PE/PP-Vlies	m ² (0.5 kg/m ² ; 396 kg/m ³); m ³	-675,4	-9.883,2	-12.709,7	50	0
Trockenestrich	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Unterdeckbahn	6.6.01 Unterspannbahn PE gewebeverstärkt (Dicke 0,00015 m)	m ³ (262 kg/m ³)	-951,5	-13.922,7	-17.904,4	40	1
Vegetationssubstrat, 750 kg/m ³	1.3.19 Vegetationssubstrat	kg (750 kg/m ³); m ³	-1,5	-20,6	-26,4	30	1
Verbundestrich	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Vergussbeton B5	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Vollziegel	75% 1.3.02 Mauerziegel	m ³ (575 kg/m ³)	-5,3	-76,9	-84,1	50	0
Vollziegel/Mörtel	75% 1.3.02 Mauerziegel	m ³ (575 kg/m ³)	-5,3	-76,9	-84,1	50	0
Vorhangsfassade (Annahme: Laubholz, natur)	3.1.01 Laubschnittholz - getrocknet - therm. Verwertung	m ³ (761.6 kg/m ³)	-601,9	-7.982,3	2.357,4	40	1
Vorhangsfassade (Faserzementplatten)	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Vorhangsfassade (Holzverschalung, lackiert)	99,6 % 3.1.01 Nadelschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE); 0,4 % 5.6.02 Lacksysteme Holzfassade halb-pigmentiert	m ³ (mit 484.51 kg/m ³); kg (mit 1040 kg/m ³)	-374,5	-4.984,9	1.442,1	40	1
Vormauerschale (Kalksand-Vollstein)	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Vormauerziegel	75% 1.3.02 Vormauerziegel	m ³ (1800 kg/m ³)	-2,8	-37,0	-47,6	50	0
WDG, zweifach	7.2.01 Isolierglas 2-Scheiben	m ² (20.5 kg/m ²)	-0,7	-10,3	-13,2	30	1
WDG, dreifach	7.2.01 Dreifachverglasung (Dicke: 0,036 m)	m ² (30 kg/m ² mit 833.3 kg/m ³)	-1,4	-20,6	-26,5	30	1
WDVS Verklebung und Beschichtung	-	-	0,0	0,0	0,0	30	1
WDVS Verklebung und Beschichtung, nach Sanierung innenliegend	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Winddichtheitsbahn	6.6.01 Unterspannbahn PE gewebeverstärkt (Dicke 0,00015 m)	m ³ (262 kg/m ³)	-951,5	-13.922,7	-17.904,4	40	1
Zellulosefaser-Einblasdämmung	2.11.01 Zellulose-Einblas-Dämmung	m ³ (45 kg/m ³)	-30,5	-420,8	-541,3	50	0
Zementestrich	-	-	0,0	0,0	0,0	50	0
Ziegel/Mörtel	75% 1.3.02 Mauerziegel; -	m ³ (575 kg/m ³)	-5,3	-76,9	-84,1	50	0
Ziegelmauerwerk	75% 1.3.02 Mauerziegel; -	m ³ (575 kg/m ³)	-5,3	-7,1	-76,9	50	0
Ziegelmauerwerk Fundament	75% 1.3.02 Mauerziegel; -	m ³ (575 kg/m ³)	-5,3	-76,9	-84,1	50	0
Ziegelpflaster	75% 1.3.02 Vormauerziegel; -	m ³ (1800 kg/m ³)	-2,8	-37,0	-47,6	50	0
Ziegelsplittbeton	1.3.05 Beton-Mauersteine	m ³ (2000 kg/m ³)	-4,1	-54,8	-70,5	50	0
Zinkblech	4.1.04 Stahl Feinblech (20µm bandverzinkt)	kg (7850 kg/m ³); m ³	-12.373,1	-93.570,4	-82.893,9	40	1

A.6 Übersichtstabellen über die baualterspezifischen Umweltwirkungen je Altbaukonstruktion

Hier finden sich je Bauteil im Altbau die Tabellen zu den baualtersklassenbezogenen minimal und maximal auftretenden Umweltwirkungen. Die Umweltwirkungen sind separat nach den Phasen A1 bis A3, B4, C3, C4, D und D aus B4 („DofB4“) ausgegeben. Die Tabellen können als csv-Dateien abgespeichert und so in Softwarelösungen importiert werden, um auf deren Grundlage automatisierte Lebenszyklusanalysen für verschiedene Baumaßnahmen durchzuführen. Das GWP ist in $\text{kg CO}_2\text{-Äq./m}^2_{\text{Bauteil}}$, das PET und PENRT sind in $\text{MJ/ m}^2_{\text{Bauteil}}$ ausgewiesen. Sind in einer Baualtersklasse keine Werte vorhanden, ist dies mit „n.v.“ (nicht vorhanden) vermerkt.

Die Nennung der Bauteile erfolgt in alphabetischer Reihenfolge:

- BP_old
- CFLmas_old
- CFLwood_old
- CW_old
- EW2shelled_old
- EWcwf_old
- EWmas_old
- EWwood_old
- F_old
- FLmas_old
- FLwood_old
- FROmas_old
- FROwood_old
- SW2shelled_old
- SWcwf_old
- SWmas_old
- SWwood_old
- IWmas_old
- IWwood_old
- PRO_old
- SCW_old
- TFLmas_old
- TFLwood_old
- Walu_old
- Wplas_old
- Wwood_old

A.6 Übersichtstabellen über die baualterspezifischen Umweltwirkungen je Altbaukonstruktion

Tabelle A. 11: Bodenplatte Altbau – BP_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	-26,3	31,7	407,6
1_A1A3_max	65,6	754,0	815,7
2_A1A3_min	-26,3	31,7	407,6
2_A1A3_max	54,9	320,0	387,6
3_A1A3_min	42,4	343,3	387,9
3_A1A3_max	71,8	609,6	833,5
4_A1A3_min	42,4	343,3	387,9
4_A1A3_max	66,8	622,6	903,1
5_A1A3_min	42,4	343,3	387,9
5_A1A3_max	63,1	614,1	915,4
6_A1A3_min	42,4	343,3	387,9
6_A1A3_max	410,1	3890,5	5279,5
7_A1A3_min	42,4	343,3	387,9
7_A1A3_max	410,1	3890,5	5279,5
8_A1A3_min	42,4	343,3	387,9
8_A1A3_max	66,9	742,0	913,5
9_A1A3_min	78,5	560,1	698,3
9_A1A3_max	204,7	1695,0	2233,4
10_A1A3_min	78,5	560,1	698,3
10_A1A3_max	206,6	1751,7	2293,7
11_A1A3_min	78,5	560,1	698,3
11_A1A3_max	208,1	1794,3	2339,0
1_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
1_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
8_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
8_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
9_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
9_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
10_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
10_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
11_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
11_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
1_C3_min	29,0	2,1	-301,6
1_C3_max	3,4	54,8	62,0
2_C3_min	29,0	2,1	-301,6
2_C3_max	1,0	12,6	15,9
3_C3_min	2,6	41,7	47,4
3_C3_max	4,0	11,5	14,6
4_C3_min	2,6	41,7	47,4
4_C3_max	10,4	11,7	14,9
5_C3_min	2,6	41,7	47,4
5_C3_max	13,5	11,0	14,0
6_C3_min	2,6	41,7	47,4
6_C3_max	7,8	109,4	132,9
7_C3_min	2,6	41,7	47,4
7_C3_max	7,8	109,4	132,9
8_C3_min	2,6	41,7	47,4
8_C3_max	7,8	42,2	48,0
9_C3_min	2,3	19,6	24,8
9_C3_max	16,8	43,6	55,1
10_C3_min	2,3	19,6	24,8
10_C3_max	19,2	44,0	55,5
11_C3_min	2,3	19,6	24,8
11_C3_max	20,9	44,2	55,8
1_C4_min	0,0	0,0	0,0
1_C4_max	0,6	8,6	9,7
2_C4_min	0,0	0,0	0,0
2_C4_max	2,2	31,5	35,7
3_C4_min	1,3	18,4	20,8
3_C4_max	1,8	26,3	29,7
4_C4_min	1,3	18,4	20,8
4_C4_max	1,4	21,0	23,8
5_C4_min	1,3	18,4	20,8
5_C4_max	1,4	21,0	23,8
6_C4_min	1,3	18,4	20,8
6_C4_max	1,3	18,4	20,8
7_C4_min	1,3	18,4	20,8
7_C4_max	1,3	18,4	20,8
8_C4_min	1,3	18,4	20,8
8_C4_max	1,3	18,4	20,8
9_C4_min	3,0	26,4	29,9
9_C4_max	2,7	39,4	44,6
10_C4_min	3,0	26,4	29,9
10_C4_max	2,7	39,4	44,6
11_C4_min	3,0	26,4	29,9
11_C4_max	2,7	39,4	44,6
1_D_min	-13,6	-181,6	53,0

1_D_max	-2,9	-38,5	-50,9
2_D_min	-13,6	-181,6	53,0
2_D_max	-3,4	-44,6	-59,7
3_D_min	-2,7	-35,5	-47,1
3_D_max	-4,3	-52,8	-69,9
4_D_min	-2,7	-35,5	-47,1
4_D_max	-6,5	-77,1	-101,2
5_D_min	-2,7	-35,5	-47,1
5_D_max	-7,5	-86,5	-113,2
6_D_min	-2,7	-35,5	-47,1
6_D_max	-21,1	-275,4	-368,0
7_D_min	-2,7	-35,5	-47,1
7_D_max	-21,1	-275,4	-368,0
8_D_min	-2,7	-35,5	-47,1
8_D_max	-5,2	-71,7	-93,6
9_D_min	-6,3	-84,6	-110,5
9_D_max	-16,3	-225,2	-297,4
10_D_min	-6,3	-84,6	-110,5
10_D_max	-17,3	-239,7	-316,0
11_D_min	-6,3	-84,6	-110,5
11_D_max	-18,1	-250,6	-330,0
1_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
1_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

Tabelle A. 12: Kellerdecke in Massivbauweise, Altbau – CFLmas_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator	GWP	PENRT	PET
unit	[kg CO ₂ -Äq./m ²]	[MJ/m ²]	[MJ/m ²]
1_A1A3_min	-41,2	158,1	901,0
1_A1A3_max	-40,3	158,9	825,9
2_A1A3_min	-50,2	61,7	779,2
2_A1A3_max	-40,3	162,2	900,2
3_A1A3_min	-50,2	61,7	779,2
3_A1A3_max	-40,3	162,2	900,2
4_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_A1A3_min	-28,8	455,4	1166,3
9_A1A3_max	-114,9	903,4	3624,3
10_A1A3_min	-28,8	455,4	1166,3
10_A1A3_max	-114,9	903,4	3624,3
11_A1A3_min	-29,5	456,2	1174,7
11_A1A3_max	-115,8	912,5	3651,7
1_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
1_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
8_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
8_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
9_B4_50a_min	10,4	89,3	111,4
9_B4_50a_max	10,4	89,3	111,4
10_B4_50a_min	10,4	89,3	111,4
10_B4_50a_max	10,4	89,3	111,4

A.6 Übersichtstabellen über die baualterspezifischen Umweltwirkungen je Altbaukonstruktion

11_B4_50a_min	10,4	89,3	111,4
11_B4_50a_max	10,4	89,3	111,4
1_C3_min	24,5	7,3	-255,2
1_C3_max	19,1	17,5	-180,0
2_C3_min	27,2	11,3	-278,0
2_C3_max	1,0	12,5	15,7
3_C3_min	21,6	9,4	-222,2
3_C3_max	10,4	11,7	14,5
4_C3_min	21,6	9,4	-222,2
4_C3_max	10,4	11,7	14,5
5_C3_min	19,9	27,9	-77,6
5_C3_max	10,4	11,7	14,5
6_C3_min	0,9	12,0	14,8
6_C3_max	9,0	14,6	18,5
7_C3_min	0,9	12,0	14,8
7_C3_max	9,0	14,6	18,5
8_C3_min	6,2	15,9	19,4
8_C3_max	9,0	14,6	18,5
9_C3_min	1,0	15,1	18,5
9_C3_max	22,0	18,8	23,8
10_C3_min	1,0	15,5	18,9
10_C3_max	28,7	18,9	23,9
11_C3_min	1,0	15,9	19,3
11_C3_max	33,7	18,9	24,0
1_C4_min	0,7	10,9	12,3
1_C4_max	2,2	31,6	35,8
2_C4_min	0,9	13,1	14,8
2_C4_max	2,2	31,5	35,7
3_C4_min	0,9	13,1	14,8
3_C4_max	1,8	26,3	29,5
4_C4_min	0,9	13,1	14,8
4_C4_max	1,8	26,3	29,5
5_C4_min	1,6	22,8	25,8
5_C4_max	1,8	26,3	29,5
6_C4_min	0,9	13,4	15,2
6_C4_max	1,5	21,4	24,2
7_C4_min	0,9	13,4	15,2
7_C4_max	1,5	21,4	24,2
8_C4_min	2,6	22,2	25,1
8_C4_max	1,5	21,4	24,2
9_C4_min	0,9	12,7	14,4
9_C4_max	3,2	47,1	53,3
10_C4_min	0,9	12,8	14,5
10_C4_max	3,2	47,1	53,3
11_C4_min	0,9	12,9	14,6
11_C4_max	3,2	47,1	53,3
1_D_min	-12,3	-164,8	37,7
1_D_max	-11,9	-158,7	-14,5
2_D_min	-13,6	-182,6	40,7
2_D_max	-3,4	-44,2	-59,1
3_D_min	-11,1	-149,3	29,3
3_D_max	-6,1	-71,5	-93,7
4_D_min	-11,1	-149,3	29,3
4_D_max	-6,1	-71,5	-93,7
5_D_min	-8,2	-101,3	-27,8
5_D_max	-6,1	-71,5	-93,7
6_D_min	-2,9	-37,9	-50,7
6_D_max	-6,7	-81,3	-107,1
7_D_min	-2,9	-37,9	-50,7
7_D_max	-6,7	-81,3	-107,1
8_D_min	-6,0	-81,9	-105,9
8_D_max	-6,7	-81,3	-107,1
9_D_min	-3,4	-44,2	-59,1
9_D_max	-10,6	-161,6	-211,2
10_D_min	-3,4	-44,2	-59,1
10_D_max	-12,4	-192,4	-250,8
11_D_min	-3,4	-44,2	-59,1
11_D_max	-13,7	-215,4	-280,5
1_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
1_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

Tabelle A. 13: Kellerdecke- in Holzbauweise, Altbau – CFLwood_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	-4,2	150,1	500,7
1_A1A3_max	41,1	395,2	717,8
2_A1A3_min	-2,8	178,8	568,6
2_A1A3_max	63,2	429,1	543,9
3_A1A3_min	3,5	194,2	512,2
3_A1A3_max	82,2	978,9	1352,8
4_A1A3_min	3,5	194,2	512,2
4_A1A3_max	82,2	978,9	1352,8
5_A1A3_min	47,9	390,2	689,2
5_A1A3_max	82,2	978,9	1352,8
6_A1A3_min	55,1	527,5	689,5
6_A1A3_max	90,9	871,9	1236,8
7_A1A3_min	55,1	527,5	689,5
7_A1A3_max	90,9	871,9	1236,8
8_A1A3_min	78,3	771,0	1023,5
8_A1A3_max	90,9	871,9	1236,8
9_A1A3_min	53,8	455,9	581,1
9_A1A3_max	109,6	1011,4	1491,7
10_A1A3_min	54,4	463,1	589,5
10_A1A3_max	105,9	1047,8	1601,1
11_A1A3_min	55,0	470,3	597,9
11_A1A3_max	103,2	1075,2	1683,2
1_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
1_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
9_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
10_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
10_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
11_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
11_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
1_C3_min	51,6	9,4	-526,8
1_C3_max	52,7	26,9	-507,4
2_C3_min	55,6	8,9	-569,8
2_C3_max	55,6	9,7	-569,0
3_C3_min	55,6	8,9	-569,8
3_C3_max	55,6	9,7	-569,0
4_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_C3_min	53,3	-9,1	-520,1
9_C3_max	198,0	-3,8	-1987,4
10_C3_min	53,3	-9,1	-520,1
10_C3_max	198,0	-3,8	-1987,4
11_C3_min	54,2	-9,1	-520,1
11_C3_max	199,7	-3,8	-1987,4
1_C4_min	0,5	0,0	-5,7
1_C4_max	0,0	0,0	0,0
2_C4_min	0,0	0,0	0,0
2_C4_max	0,0	0,0	0,0
3_C4_min	0,0	0,0	0,0
3_C4_max	0,0	0,0	0,0
4_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_C4_min	0,5	7,0	7,9
9_C4_max	3,1	44,9	50,8
10_C4_min	0,5	7,0	7,9
10_C4_max	3,1	44,9	50,8
11_C4_min	0,5	7,0	7,9
11_C4_max	3,1	44,9	50,8

A.6 Übersichtstabellen über die baualterspezifischen Umweltwirkungen je Altbaukonstruktion

1_D_min	-24,5	-327,0	86,6
1_D_max	-24,4	-326,3	87,1
2_D_min	-25,9	-346,5	101,1
2_D_max	-26,4	-352,4	93,9
3_D_min	-25,9	-346,5	101,1
3_D_max	-26,4	-352,4	93,9
4_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_D_min	-21,3	-381,1	4,1
9_D_max	-86,5	-1316,2	212,6
10_D_min	-21,3	-381,1	4,1
10_D_max	-86,5	-1316,2	212,6
11_D_min	-21,6	-384,9	-0,8
11_D_max	-86,9	-1323,8	202,7
1_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
1_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

Tabelle A. 14: Kelleraußenwand Altbau – CW_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	50,5	341,8	411,7
1_A1A3_max	131,7	876,8	1070,7
2_A1A3_min	75,2	505,8	609,6
2_A1A3_max	107,0	712,9	872,8
3_A1A3_min	48,6	329,2	396,5
3_A1A3_max	108,9	1046,0	1447,6
4_A1A3_min	48,6	329,2	396,5
4_A1A3_max	108,9	1046,0	1447,6
5_A1A3_min	48,6	329,2	396,5
5_A1A3_max	108,9	1046,0	1447,6
6_A1A3_min	57,7	511,5	696,1
6_A1A3_max	88,7	621,5	773,9
7_A1A3_min	57,7	511,5	696,1
7_A1A3_max	116,0	1127,1	1484,7
8_A1A3_min	86,6	450,7	567,1
8_A1A3_max	116,0	1127,1	1484,7
9_A1A3_min	50,2	447,0	548,2
9_A1A3_max	116,2	1160,5	1326,8
10_A1A3_min	50,2	447,0	548,2
10_A1A3_max	118,2	1217,3	1387,2
11_A1A3_min	50,2	447,0	548,2
11_A1A3_max	119,6	1259,9	1432,5
1_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
1_B4_50a_max	7,7	51,0	74,3
2_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_max	7,7	51,0	74,3
3_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_max	7,7	51,0	74,3
4_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_max	7,7	51,0	74,3
5_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_max	7,7	51,0	74,3
6_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_max	7,7	51,0	74,3
7_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_max	20,5	222,4	256,6
8_B4_50a_min	7,7	51,0	74,3
8_B4_50a_max	20,5	222,4	256,6
9_B4_50a_min	8,4	129,2	135,5
9_B4_50a_max	38,8	492,6	540,4
10_B4_50a_min	8,4	129,2	135,5

10_B4_50a_max	43,1	549,7	601,1
11_B4_50a_min	8,4	129,2	135,5
11_B4_50a_max	46,3	592,6	646,7
1_C3_min	-1,9	5,3	5,6
1_C3_max	-4,8	13,6	14,3
2_C3_min	-2,9	8,1	8,5
2_C3_max	-3,8	10,8	11,4
3_C3_min	-1,8	5,1	5,4
3_C3_max	1,3	16,9	21,3
4_C3_min	-1,8	5,1	5,4
4_C3_max	1,3	16,9	21,3
5_C3_min	-1,8	5,1	5,4
5_C3_max	1,3	16,9	21,3
6_C3_min	1,0	13,2	16,7
6_C3_max	0,9	15,3	16,9
7_C3_min	1,0	13,2	16,7
7_C3_max	8,8	24,0	30,2
8_C3_min	3,5	54,6	62,8
8_C3_max	8,8	24,0	30,2
9_C3_min	5,3	16,3	20,5
9_C3_max	18,9	34,9	38,3
10_C3_min	5,3	16,3	20,5
10_C3_max	21,2	35,2	38,7
11_C3_min	5,3	16,3	20,5
11_C3_max	23,0	35,5	39,1
1_C4_min	2,1	30,5	34,5
1_C4_max	5,6	81,4	92,0
2_C4_min	3,1	44,8	50,7
2_C4_max	4,6	67,1	75,8
3_C4_min	2,0	29,4	33,2
3_C4_max	0,7	10,8	12,3
4_C4_min	2,0	29,4	33,2
4_C4_max	0,7	10,8	12,3
5_C4_min	2,0	29,4	33,2
5_C4_max	0,7	10,8	12,3
6_C4_min	0,0	0,0	0,0
6_C4_max	3,4	49,9	56,4
7_C4_min	0,0	0,0	0,0
7_C4_max	0,7	10,8	12,3
8_C4_min	0,7	10,8	12,3
8_C4_max	0,7	10,8	12,3
9_C4_min	0,0	0,3	0,3
9_C4_max	1,4	19,9	22,5
10_C4_min	0,0	0,3	0,3
10_C4_max	1,4	19,9	22,5
11_C4_min	0,0	0,3	0,3
11_C4_max	1,4	19,9	22,5
1_D_min	-1,3	-19,2	-21,0
1_D_max	-3,4	-49,2	-53,8
2_D_min	-2,0	-29,2	-32,0
2_D_max	-2,7	-39,2	-42,9
3_D_min	-1,3	-18,5	-20,2
3_D_max	-4,6	-59,9	-80,1
4_D_min	-1,3	-18,5	-20,2
4_D_max	-4,6	-59,9	-80,1
5_D_min	-1,3	-18,5	-20,2
5_D_max	-4,6	-59,9	-80,1
6_D_min	-3,6	-46,8	-62,6
6_D_max	-0,3	-3,8	-4,8
7_D_min	-3,6	-46,8	-62,6
7_D_max	-9,2	-124,7	-164,5
8_D_min	-4,7	-61,7	-82,1
8_D_max	-9,2	-124,7	-164,5
9_D_min	-6,3	-85,2	-112,4
9_D_max	-7,7	-112,9	-145,2
10_D_min	-6,3	-85,2	-112,4
10_D_max	-8,7	-127,4	-163,8
11_D_min	-6,3	-85,2	-112,4
11_D_max	-9,4	-138,3	-177,8
1_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
1_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_max	-3,0	-43,5	-55,9
8_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_max	-3,0	-43,5	-55,9
9_DofB4_min	-2,0	-29,9	-38,5
9_DofB4_max	-7,7	-112,9	-145,2
10_DofB4_min	-2,0	-29,9	-38,5
10_DofB4_max	-8,7	-127,4	-163,8
11_DofB4_min	-2,0	-29,9	-38,5
11_DofB4_max	-9,4	-138,3	-177,8

A.6 Übersichtstabellen über die baualterspezifischen Umweltwirkungen je Altbaukonstruktion

Tabelle A. 15: 2-schalige Außenwand, Altbau – EW2shelled_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	50,5	347,5	418,8
1_A1A3_max	92,2	1008,6	1127,0
2_A1A3_min	50,5	347,5	418,8
2_A1A3_max	101,0	1062,4	1192,1
3_A1A3_min	50,5	347,5	418,8
3_A1A3_max	123,7	761,2	911,6
4_A1A3_min	50,5	347,5	418,8
4_A1A3_max	123,2	1080,5	1235,4
5_A1A3_min	50,5	347,5	418,8
5_A1A3_max	114,9	1099,1	1238,9
6_A1A3_min	51,0	301,7	414,1
6_A1A3_max	80,7	784,8	1014,8
7_A1A3_min	51,0	301,7	414,1
7_A1A3_max	80,7	784,8	1014,8
8_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
9_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
10_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
10_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
11_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
11_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
1_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
1_B4_50a_max	5,8	38,3	55,7
2_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_max	5,8	38,3	55,7
3_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_max	5,8	38,3	55,7
4_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_max	5,8	38,3	55,7
5_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
8_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
9_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
10_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
10_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
11_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
11_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
1_C3_min	-2,0	5,7	6,0
1_C3_max	0,0	23,1	25,5
2_C3_min	-2,0	5,7	6,0
2_C3_max	-0,3	24,0	26,3
3_C3_min	-2,0	5,7	6,0
3_C3_max	1,6	30,6	33,3
4_C3_min	-2,0	5,7	6,0
4_C3_max	4,5	74,5	82,6
5_C3_min	-2,0	5,7	6,0
5_C3_max	2,0	32,5	36,0
6_C3_min	7,9	30,1	35,3
6_C3_max	1,4	18,6	22,9
7_C3_min	7,9	30,1	35,3
7_C3_max	1,4	18,6	22,9
8_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
9_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
10_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
10_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
11_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
11_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
1_C4_min	2,0	28,5	32,2
1_C4_max	2,3	34,1	38,5
2_C4_min	2,0	28,5	32,2
2_C4_max	2,7	40,1	45,3
3_C4_min	2,0	28,5	32,2
3_C4_max	3,6	52,3	59,1
4_C4_min	2,0	28,5	32,2
4_C4_max	1,4	20,2	22,8
5_C4_min	2,0	28,5	32,2
5_C4_max	1,0	14,3	16,1
6_C4_min	0,0	0,0	0,0
6_C4_max	3,2	3,1	3,5
7_C4_min	0,0	0,0	0,0
7_C4_max	3,2	3,1	3,5
8_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
9_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
10_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
10_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
11_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
11_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.

1_D_min	-1,4	-20,6	-22,5
1_D_max	-1,2	-16,8	-19,2
2_D_min	-1,4	-20,6	-22,5
2_D_max	-1,4	-19,8	-22,4
3_D_min	-1,4	-20,6	-22,5
3_D_max	0,0	0,0	0,0
4_D_min	-1,4	-20,6	-22,5
4_D_max	-1,3	-17,9	-23,0
5_D_min	-1,4	-20,6	-22,5
5_D_max	-0,6	-7,6	-9,8
6_D_min	-6,0	-82,0	-107,6
6_D_max	-5,6	-76,3	-96,2
7_D_min	-6,0	-82,0	-107,6
7_D_max	-5,6	-76,3	-96,2
8_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
9_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
10_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
10_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
11_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
11_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
1_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
1_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
9_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
10_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
10_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
11_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
11_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.

Tabelle A. 16: Außenwand mit Vorhang- oder hinter-/bzw. belüfteter Fassade, Altbau – EWcwf_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	28,9	469,3	1093,8
1_A1A3_max	28,9	469,3	1093,8
2_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_A1A3_min	9,8	273,3	708,1
5_A1A3_max	74,2	590,9	865,2
6_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_A1A3_min	91,7	600,0	805,5
9_A1A3_max	81,7	1035,5	1797,2
10_A1A3_min	91,7	600,0	805,5
10_A1A3_max	72,3	1104,2	2037,3
11_A1A3_min	91,7	600,0	805,5
11_A1A3_max	69,9	1121,4	2097,4
1_B4_50a_min	3,1	36,3	269,6
1_B4_50a_max	3,1	36,3	269,6
2_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_B4_50a_min	1,8	25,0	71,5
5_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
9_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
10_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0

A.6 Übersichtstabellen über die baualterspezifischen Umweltwirkungen je Altbaukonstruktion

10_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
11_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
11_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
1_C3_min	37,6	88,7	-242,3
1_C3_max	37,6	88,7	-242,3
2_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_C3_min	35,2	14,6	-206,4
5_C3_max	12,8	17,1	-6,3
6_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_C3_min	4,1	18,5	-10,8
9_C3_max	43,0	24,3	-80,8
10_C3_min	4,1	18,5	-10,8
10_C3_max	58,1	24,7	-112,4
11_C3_min	4,1	18,5	-10,8
11_C3_max	61,9	24,8	-120,3
1_C4_min	3,1	44,7	50,6
1_C4_max	3,1	44,7	50,6
2_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_C4_min	0,1	2,0	2,2
5_C4_max	45,8	669,2	757,0
6_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_C4_min	30,1	439,4	497,1
9_C4_max	29,6	431,6	488,3
10_C4_min	30,1	439,4	497,1
10_C4_max	29,6	431,6	488,3
11_C4_min	30,1	439,4	497,1
11_C4_max	29,6	431,6	488,3
1_D_min	-17,2	-227,9	33,5
1_D_max	-17,2	-227,9	33,5
2_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_D_min	-18,1	-227,9	-83,2
5_D_max	-4,5	-51,4	-42,5
6_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_D_min	-1,7	-23,2	-0,3
9_D_max	-19,5	-289,7	-271,6
10_D_min	-1,7	-23,2	-0,3
10_D_max	-24,1	-364,5	-337,5
11_D_min	-1,7	-23,2	-0,3
11_D_max	-25,3	-383,2	-353,9
1_DofB4_min	-14,4	-191,6	56,6
1_DofB4_max	-14,4	-191,6	56,6
2_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_DofB4_min	-9,0	-119,6	34,6
5_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7
10_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7
11_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7

Tabelle A. 17: Massive, monolithische Außenwand, Altbau – EWmas_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	40,0	269,9	325,2
1_A1A3_max	104,2	693,2	846,1
2_A1A3_min	25,8	177,9	213,8
2_A1A3_max	98,9	660,9	797,1
3_A1A3_min	25,0	221,8	301,8
3_A1A3_max	101,1	968,3	1340,0
4_A1A3_min	25,0	221,8	301,8
4_A1A3_max	101,1	968,3	1340,0
5_A1A3_min	25,0	221,8	301,8
5_A1A3_max	101,1	968,3	1340,0
6_A1A3_min	25,0	221,8	301,8
6_A1A3_max	91,4	810,2	1102,5
7_A1A3_min	25,0	221,8	301,8
7_A1A3_max	91,4	810,2	1102,5
8_A1A3_min	66,5	386,4	486,2
8_A1A3_max	79,5	530,0	652,1
9_A1A3_min	42,5	371,5	459,6
9_A1A3_max	60,1	473,8	563,1
10_A1A3_min	42,5	371,5	459,6
10_A1A3_max	62,2	498,4	591,6
11_A1A3_min	42,5	371,5	459,6
11_A1A3_max	62,2	498,4	591,6
1_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
1_B4_50a_max	5,8	38,3	55,7
2_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_max	7,7	51,0	74,3
4_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_max	7,7	51,0	74,3
5_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_max	7,7	51,0	74,3
6_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
8_B4_50a_min	7,7	51,0	74,3
8_B4_50a_max	7,7	51,0	74,3
9_B4_50a_min	7,7	51,0	74,3
9_B4_50a_max	15,8	154,9	187,3
10_B4_50a_min	7,7	51,0	74,3
10_B4_50a_max	18,0	181,2	217,6
11_B4_50a_min	7,7	51,0	74,3
11_B4_50a_max	18,0	181,2	217,6
1_C3_min	-1,5	4,2	4,5
1_C3_max	-3,8	10,8	11,4
2_C3_min	-0,9	2,5	2,7
2_C3_max	-3,8	10,8	11,4
3_C3_min	0,4	5,7	7,2
3_C3_max	1,2	15,6	19,6
4_C3_min	0,4	5,7	7,2
4_C3_max	1,2	15,6	19,6
5_C3_min	0,4	5,7	7,2
5_C3_max	1,2	15,6	19,6
6_C3_min	0,4	5,7	7,2
6_C3_max	1,6	20,9	26,4
7_C3_min	0,4	5,7	7,2
7_C3_max	1,6	20,9	26,4
8_C3_min	0,7	11,4	12,6
8_C3_max	-2,8	7,8	8,2
9_C3_min	-2,4	6,8	7,1
9_C3_max	0,9	19,6	21,2
10_C3_min	-2,4	6,8	7,1
10_C3_max	1,0	21,0	22,6
11_C3_min	-2,4	6,8	7,1
11_C3_max	1,0	21,0	22,6
1_C4_min	1,6	24,0	27,1
1_C4_max	4,4	64,1	72,4
2_C4_min	1,1	16,2	18,3
2_C4_max	4,0	58,2	65,7
3_C4_min	0,0	0,0	0,0
3_C4_max	0,7	10,8	12,3
4_C4_min	0,0	0,0	0,0
4_C4_max	0,7	10,8	12,3
5_C4_min	0,0	0,0	0,0
5_C4_max	0,7	10,8	12,3
6_C4_min	0,0	0,0	0,0
6_C4_max	0,0	0,0	0,0
7_C4_min	0,0	0,0	0,0
7_C4_max	0,0	0,0	0,0
8_C4_min	1,4	21,1	23,9
8_C4_max	3,5	51,1	57,7
9_C4_min	0,8	11,3	12,8
9_C4_max	0,8	11,0	12,5
10_C4_min	0,8	11,3	12,8
10_C4_max	0,8	11,4	12,8
11_C4_min	0,8	11,3	12,8
11_C4_max	0,8	11,4	12,8

A.6 Übersichtstabellen über die baualterspezifischen Umweltwirkungen je Altbaukonstruktion

1_D_min	-1,1	-15,4	-16,8
1_D_max	-2,7	-39,2	-42,9
2_D_min	-0,6	-9,2	-10,1
2_D_max	-2,7	-39,2	-42,9
3_D_min	-1,6	-20,3	-27,1
3_D_max	-4,2	-55,1	-73,7
4_D_min	-1,6	-20,3	-27,1
4_D_max	-4,2	-55,1	-73,7
5_D_min	-1,6	-20,3	-27,1
5_D_max	-4,2	-55,1	-73,7
6_D_min	-1,6	-20,3	-27,1
6_D_max	-5,7	-74,2	-99,2
7_D_min	-1,6	-20,3	-27,1
7_D_max	-5,7	-74,2	-99,2
8_D_min	-0,2	-2,8	-3,6
8_D_max	-1,9	-28,1	-30,7
9_D_min	-1,7	-24,5	-26,8
9_D_max	0,0	0,0	0,0
10_D_min	-1,7	-24,5	-26,8
10_D_max	0,0	0,0	0,0
11_D_min	-1,7	-24,5	-26,8
11_D_max	0,0	0,0	0,0
1_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
1_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

Tabelle A. 18: Außenwand in Holzbauweise, Altbau – EWwood_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	-34,3	74,2	605,0
1_A1A3_max	38,0	384,0	700,2
2_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_A1A3_min	-1,0	245,6	443,7
6_A1A3_max	-1,0	245,6	443,7
7_A1A3_min	-1,0	245,6	443,7
7_A1A3_max	-1,0	245,6	443,7
8_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_A1A3_min	-46,7	188,4	1124,8
9_A1A3_max	-148,2	861,9	3786,4
10_A1A3_min	-60,6	209,8	1334,4
10_A1A3_max	-167,0	999,3	4266,7
11_A1A3_min	-60,6	209,8	1334,4
11_A1A3_max	-167,0	999,3	4266,7
1_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
1_B4_50a_max	7,7	51,0	74,3
2_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_B4_50a_min	1,5	115,1	117,9
6_B4_50a_max	1,5	115,1	117,9
7_B4_50a_min	1,5	115,1	117,9
7_B4_50a_max	1,5	115,1	117,9
8_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_B4_50a_min	3,9	47,3	281,5
9_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
10_B4_50a_min	3,9	47,3	281,5

10_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
11_B4_50a_min	3,9	47,3	281,5
11_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
1_C3_min	34,4	9,5	-346,3
1_C3_max	15,8	6,0	-177,0
2_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_C3_min	12,3	-9,9	-139,2
6_C3_max	12,3	-9,9	-139,2
7_C3_min	12,3	-9,9	-139,2
7_C3_max	12,3	-9,9	-139,2
8_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_C3_min	62,2	2,9	-506,5
9_C3_max	212,5	-3,3	-2058,3
10_C3_min	79,3	3,6	-603,5
10_C3_max	242,9	-2,6	-2121,5
11_C3_min	79,3	3,6	-603,5
11_C3_max	242,9	-2,6	-2121,5
1_C4_min	0,7	0,0	-8,0
1_C4_max	2,5	35,8	40,4
2_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_C4_min	0,4	5,7	6,3
6_C4_max	0,4	5,7	6,3
7_C4_min	0,4	5,7	6,3
7_C4_max	0,4	5,7	6,3
8_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_C4_min	0,3	4,9	5,6
9_C4_max	29,9	435,9	493,1
10_C4_min	0,3	4,9	5,6
10_C4_max	29,9	435,9	493,1
11_C4_min	0,3	4,9	5,6
11_C4_max	29,9	435,9	493,1
1_D_min	-16,1	-216,2	58,1
1_D_max	-9,4	-127,4	12,2
2_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_D_min	-2,6	-81,5	-11,8
6_D_max	-2,6	-81,5	-11,8
7_D_min	-2,6	-81,5	-11,8
7_D_max	-2,6	-81,5	-11,8
8_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_D_min	-27,4	-367,8	13,0
9_D_max	-91,5	-1392,2	182,2
10_D_min	-34,2	-459,4	-12,7
10_D_max	-100,8	-1541,7	50,5
11_D_min	-34,2	-459,4	-12,7
11_D_max	-100,8	-1541,7	50,5
1_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
1_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_DofB4_min	-14,6	-193,7	53,9
9_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7
10_DofB4_min	-14,6	-193,7	53,9
10_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7
11_DofB4_min	-14,6	-193,7	53,9
11_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7

A.6 Übersichtstabellen über die baualterspezifischen Umweltwirkungen je Altbaukonstruktion

Tabelle A. 19: Fundament Altbau – F_{old}: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	51,3	266,0	364,7
1_A1A3_max	114,0	756,7	913,3
2_A1A3_min	51,3	266,0	364,7
2_A1A3_max	114,0	756,7	913,3
3_A1A3_min	51,3	266,0	364,7
3_A1A3_max	231,3	2183,1	3000,5
4_A1A3_min	60,5	310,1	371,3
4_A1A3_max	231,3	2183,1	3000,5
5_A1A3_min	60,5	310,1	371,3
5_A1A3_max	231,3	2183,1	3000,5
6_A1A3_min	60,5	310,1	371,3
6_A1A3_max	231,3	2183,1	3000,5
7_A1A3_min	60,5	310,1	371,3
7_A1A3_max	231,3	2183,1	3000,5
8_A1A3_min	60,5	310,1	371,3
8_A1A3_max	146,8	1301,0	1770,4
9_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
9_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
10_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
10_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
11_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
11_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
1_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
1_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
8_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
8_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
9_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
9_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
10_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
10_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
11_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
11_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
1_C3_min	4,5	75,0	83,2
1_C3_max	-4,5	12,7	13,4
2_C3_min	4,5	75,0	83,2
2_C3_max	-4,5	12,7	13,4
3_C3_min	4,5	75,0	83,2
3_C3_max	3,5	45,3	57,3
4_C3_min	2,0	26,8	33,8
4_C3_max	3,5	45,3	57,3
5_C3_min	2,0	26,8	33,8
5_C3_max	3,5	45,3	57,3
6_C3_min	2,0	26,8	33,8
6_C3_max	3,5	45,3	57,3
7_C3_min	2,0	26,8	33,8
7_C3_max	3,5	45,3	57,3
8_C3_min	2,0	26,8	33,8
8_C3_max	2,6	33,6	42,4
9_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
9_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
10_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
10_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
11_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
11_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
1_C4_min	3,5	51,3	58,1
1_C4_max	4,5	66,1	74,7
2_C4_min	3,5	51,3	58,1
2_C4_max	4,5	66,1	74,7
3_C4_min	3,5	51,3	58,1
3_C4_max	0,0	0,0	0,0
4_C4_min	0,0	0,0	0,0
4_C4_max	0,0	0,0	0,0
5_C4_min	0,0	0,0	0,0
5_C4_max	0,0	0,0	0,0
6_C4_min	0,0	0,0	0,0
6_C4_max	0,0	0,0	0,0
7_C4_min	0,0	0,0	0,0
7_C4_max	0,0	0,0	0,0
8_C4_min	0,0	0,0	0,0
8_C4_max	0,0	0,0	0,0
9_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
9_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
10_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
10_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
11_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
11_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.

1_D_min	0,0	0,0	0,0
1_D_max	-3,2	-46,2	-50,5
2_D_min	0,0	0,0	0,0
2_D_max	-3,2	-46,2	-50,5
3_D_min	0,0	0,0	0,0
3_D_max	-12,3	-160,7	-214,9
4_D_min	-7,3	-94,9	-126,9
4_D_max	-12,3	-160,7	-214,9
5_D_min	-7,3	-94,9	-126,9
5_D_max	-12,3	-160,7	-214,9
6_D_min	-7,3	-94,9	-126,9
6_D_max	-12,3	-160,7	-214,9
7_D_min	-7,3	-94,9	-126,9
7_D_max	-12,3	-160,7	-214,9
8_D_min	-7,3	-94,9	-126,9
8_D_max	-9,1	-119,1	-159,2
9_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
9_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
10_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
10_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
11_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
11_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
1_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
1_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
9_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
10_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
10_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
11_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
11_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.

Tabelle A. 20: Geschossdecke in Massivbauweise, Altbau – FLmas_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_A1A3_min	43,5	635,2	1062,2
2_A1A3_max	78,1	717,9	900,5
3_A1A3_min	30,6	348,9	770,1
3_A1A3_max	82,2	978,9	1352,8
4_A1A3_min	30,6	348,9	770,1
4_A1A3_max	82,2	978,9	1352,8
5_A1A3_min	30,6	348,9	770,1
5_A1A3_max	82,2	978,9	1352,8
6_A1A3_min	62,1	515,5	687,5
6_A1A3_max	90,9	871,9	1236,8
7_A1A3_min	62,1	515,5	687,5
7_A1A3_max	67,0	935,6	1557,7
8_A1A3_min	75,5	720,6	962,0
8_A1A3_max	67,0	935,6	1557,7
9_A1A3_min	41,0	355,0	451,2
9_A1A3_max	105,5	947,0	1375,7
10_A1A3_min	41,0	355,0	451,2
10_A1A3_max	105,5	947,0	1375,7
11_A1A3_min	41,0	355,0	451,2
11_A1A3_max	105,5	947,0	1375,7
1_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_max	1,9	153,5	157,2
4_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_max	1,9	153,5	157,2
5_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_max	1,9	153,5	157,2
6_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
8_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
8_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
9_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
9_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
10_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0

A.6 Übersichtstabellen über die baualterspezifischen Umweltwirkungen je Altbaukonstruktion

10_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
11_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
11_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
<hr/>			
1_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_C3_min	20,4	12,6	-202,8
2_C3_max	-0,4	11,1	12,7
3_C3_min	30,3	28,6	-185,3
3_C3_max	10,4	11,7	14,5
4_C3_min	30,3	28,6	-185,3
4_C3_max	10,4	11,7	14,5
5_C3_min	30,3	28,6	-185,3
5_C3_max	10,4	11,7	14,5
6_C3_min	0,8	10,7	13,5
6_C3_max	9,0	14,6	18,5
7_C3_min	0,8	10,7	13,5
7_C3_max	26,3	12,4	15,8
8_C3_min	5,7	14,3	17,7
8_C3_max	26,3	12,4	15,8
9_C3_min	1,0	12,5	15,7
9_C3_max	18,7	18,8	23,8
10_C3_min	1,0	12,5	15,7
10_C3_max	18,7	18,8	23,8
11_C3_min	1,0	12,5	15,7
11_C3_max	18,7	18,8	23,8
<hr/>			
1_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_C4_min	0,3	3,7	4,2
2_C4_max	1,5	22,1	25,0
3_C4_min	0,9	13,6	15,4
3_C4_max	1,8	26,3	29,5
4_C4_min	0,9	13,6	15,4
4_C4_max	1,8	26,3	29,5
5_C4_min	0,9	13,6	15,4
5_C4_max	1,8	26,3	29,5
6_C4_min	1,3	18,4	20,8
6_C4_max	1,5	21,4	24,2
7_C4_min	1,3	18,4	20,8
7_C4_max	6,4	22,0	24,9
8_C4_min	2,1	21,8	24,6
8_C4_max	6,4	22,0	24,9
9_C4_min	1,5	4,6	5,2
9_C4_max	3,0	43,4	49,1
10_C4_min	1,5	4,6	5,2
10_C4_max	3,0	43,4	49,1
11_C4_min	1,5	4,6	5,2
11_C4_max	3,0	43,4	49,1
<hr/>			
1_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_D_min	-20,1	-218,0	-47,7
2_D_max	-10,4	-88,3	-85,9
3_D_min	-13,0	-166,2	-8,7
3_D_max	-6,1	-71,5	-93,7
4_D_min	-13,0	-166,2	-8,7
4_D_max	-6,1	-71,5	-93,7
5_D_min	-13,0	-166,2	-8,7
5_D_max	-6,1	-71,5	-93,7
6_D_min	-2,9	-37,9	-50,7
6_D_max	-6,7	-81,3	-107,1
7_D_min	-2,9	-37,9	-50,7
7_D_max	-5,9	-194,9	-246,9
8_D_min	-5,6	-75,1	-97,9
8_D_max	-5,9	-194,9	-246,9
9_D_min	-4,0	-54,0	-69,8
9_D_max	-9,7	-146,2	-191,5
10_D_min	-4,0	-54,0	-69,8
10_D_max	-9,7	-146,2	-191,5
11_D_min	-4,0	-54,0	-69,8
11_D_max	-9,7	-146,2	-191,5
<hr/>			
1_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

Tabelle A. 21: Geschossdecke in Holzbauweise, Altbau – FLwood_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	-57,1	203,7	1196,1
1_A1A3_max	-41,7	305,2	1320,3
2_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_A1A3_min	-38,7	174,9	820,5
9_A1A3_max	-89,9	1656,1	4762,6
10_A1A3_min	-38,7	174,9	820,5
10_A1A3_max	-89,9	1656,1	4762,6
11_A1A3_min	-38,7	174,9	820,5
11_A1A3_max	-89,9	1656,1	4762,6
1_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
1_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
9_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
10_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
10_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
11_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
11_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
1_C3_min	78,1	13,5	-715,1
1_C3_max	78,1	13,5	-715,1
2_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_C3_min	49,0	5,3	-497,9
9_C3_max	230,8	-3,1	-2034,7
10_C3_min	49,0	5,3	-497,9
10_C3_max	230,8	-3,1	-2034,7
11_C3_min	49,0	5,3	-497,9
11_C3_max	230,8	-3,1	-2034,7
1_C4_min	0,2	3,0	3,3
1_C4_max	1,5	21,4	24,2
2_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_C4_min	1,5	4,6	5,2
9_C4_max	4,2	60,8	68,8
10_C4_min	1,5	4,6	5,2
10_C4_max	4,2	60,8	68,8
11_C4_min	1,5	4,6	5,2
11_C4_max	4,2	60,8	68,8

A.6 Übersichtstabellen über die baualterspezifischen Umweltwirkungen je Altbaukonstruktion

1_D_min	-35,7	-469,5	85,0
1_D_max	-35,7	-469,5	85,0
2_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_D_min	-23,6	-317,0	69,4
9_D_max	-96,1	-1474,4	54,4
10_D_min	-23,6	-317,0	69,4
10_D_max	-96,1	-1474,4	54,4
11_D_min	-23,6	-317,0	69,4
11_D_max	-96,1	-1474,4	54,4
1_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
1_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

Tabelle A. 22: Flachdach in Massivbauweise, Altbau – FROmas_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_A1A3_min	25,3	612,7	676,7
3_A1A3_max	70,0	1082,4	1304,9
4_A1A3_min	25,3	612,7	676,7
4_A1A3_max	-4,3	1361,5	2917,2
5_A1A3_min	25,3	612,7	676,7
5_A1A3_max	66,7	1253,3	1764,6
6_A1A3_min	36,8	721,9	826,7
6_A1A3_max	83,8	2082,1	2318,5
7_A1A3_min	36,8	721,9	826,7
7_A1A3_max	83,8	2082,1	2318,5
8_A1A3_min	53,5	820,1	921,2
8_A1A3_max	112,9	1967,2	2262,5
9_A1A3_min	58,0	953,9	1056,6
9_A1A3_max	118,7	2137,5	2443,6
10_A1A3_min	58,0	953,9	1056,6
10_A1A3_max	118,7	2137,5	2443,6
11_A1A3_min	58,0	953,9	1056,6
11_A1A3_max	118,7	2137,5	2443,6
1_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_B4_50a_min	5,8	460,5	471,7
3_B4_50a_max	9,6	521,9	535,7
4_B4_50a_min	5,8	460,5	471,7
4_B4_50a_max	9,6	521,9	535,7
5_B4_50a_min	5,8	460,5	471,7
5_B4_50a_max	9,6	521,9	535,7
6_B4_50a_min	5,8	460,5	471,7
6_B4_50a_max	39,0	2097,1	2165,9
7_B4_50a_min	5,8	460,5	471,7
7_B4_50a_max	39,0	2097,1	2165,9
8_B4_50a_min	25,0	481,3	527,3
8_B4_50a_max	31,9	996,9	1074,1
9_B4_50a_min	25,0	481,3	527,3
9_B4_50a_max	31,9	996,9	1074,1
10_B4_50a_min	25,0	481,3	527,3

10_B4_50a_max	31,9	996,9	1074,1
11_B4_50a_min	25,0	481,3	527,3
11_B4_50a_max	31,9	996,9	1074,1
1_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_C3_min	0,2	2,3	2,9
3_C3_max	1,6	25,5	29,8
4_C3_min	0,2	2,3	2,9
4_C3_max	102,0	41,0	-1003,1
5_C3_min	0,2	2,3	2,9
5_C3_max	22,1	35,5	-171,9
6_C3_min	0,3	4,5	5,7
6_C3_max	4,4	11,1	14,0
7_C3_min	0,3	4,5	5,7
7_C3_max	4,4	11,1	14,0
8_C3_min	5,9	22,9	29,2
8_C3_max	28,2	25,0	31,0
9_C3_min	5,9	22,9	29,2
9_C3_max	35,3	26,1	32,3
10_C3_min	5,9	22,9	29,2
10_C3_max	35,3	26,1	32,3
11_C3_min	5,9	22,9	29,2
11_C3_max	35,3	26,1	32,3
1_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_C4_min	1,7	25,5	27,9
3_C4_max	1,0	15,6	16,7
4_C4_min	1,7	25,5	27,9
4_C4_max	1,3	19,5	21,1
5_C4_min	1,7	25,5	27,9
5_C4_max	1,3	19,5	21,1
6_C4_min	1,7	25,5	27,9
6_C4_max	5,9	44,6	47,7
7_C4_min	1,7	25,5	27,9
7_C4_max	5,9	44,6	47,7
8_C4_min	9,8	7,5	8,0
8_C4_max	1,6	24,1	26,0
9_C4_min	15,0	8,1	8,7
9_C4_max	1,6	24,1	26,0
10_C4_min	15,0	8,1	8,7
10_C4_max	1,6	24,1	26,0
11_C4_min	15,0	8,1	8,7
11_C4_max	1,6	24,1	26,0
1_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_D_min	-0,6	-8,0	-10,7
3_D_max	-3,3	-42,7	-57,0
4_D_min	-0,6	-8,0	-10,7
4_D_max	-50,1	-670,6	124,0
5_D_min	-0,6	-8,0	-10,7
5_D_max	-12,7	-169,8	-20,5
6_D_min	-1,2	-16,1	-21,5
6_D_max	-6,0	-84,2	-105,5
7_D_min	-1,2	-16,1	-21,5
7_D_max	-6,0	-84,2	-105,5
8_D_min	-9,4	-134,8	-161,1
8_D_max	-17,0	-240,8	-313,1
9_D_min	-12,1	-176,2	-206,4
9_D_max	-20,0	-284,3	-369,0
10_D_min	-12,1	-176,2	-206,4
10_D_max	-20,0	-284,3	-369,0
11_D_min	-12,1	-176,2	-206,4
11_D_max	-20,0	-284,3	-369,0
1_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_max	-0,2	-2,5	-3,3
4_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_max	-0,2	-2,5	-3,3
5_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_max	-0,2	-2,5	-3,3
6_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_min	-2,0	-29,3	-37,6
8_DofB4_max	-5,5	-81,0	-104,2
9_DofB4_min	-2,0	-29,3	-37,6
9_DofB4_max	-5,5	-81,0	-104,2
10_DofB4_min	-2,0	-29,3	-37,6
10_DofB4_max	-5,5	-81,0	-104,2
11_DofB4_min	-2,0	-29,3	-37,6
11_DofB4_max	-5,5	-81,0	-104,2

A.6 Übersichtstabellen über die baualterspezifischen Umweltwirkungen je Altbaukonstruktion

Tabelle A. 23: Flachdach in Holzbauweise, Altbau – FROwood_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_A1A3_min	-35,7	498,2	1092,8
2_A1A3_max	-35,7	498,2	1092,8
3_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_A1A3_min	-27,1	794,8	1673,6
4_A1A3_max	-27,1	794,8	1673,6
5_A1A3_min	-22,1	693,0	1368,2
5_A1A3_max	-22,6	799,1	1612,4
6_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_A1A3_min	-30,8	437,0	1113,2
9_A1A3_max	-114,4	1937,3	4631,7
10_A1A3_min	-30,8	437,0	1113,2
10_A1A3_max	-114,4	1937,3	4631,7
11_A1A3_min	-30,8	437,0	1113,2
11_A1A3_max	-114,4	1937,3	4631,7
1_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_B4_50a_min	5,8	460,5	471,7
2_B4_50a_max	5,8	460,5	471,7
3_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_B4_50a_min	9,6	521,9	535,7
4_B4_50a_max	9,6	521,9	535,7
5_B4_50a_min	9,6	521,9	535,7
5_B4_50a_max	9,6	521,9	535,7
6_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_B4_50a_min	22,6	289,5	330,7
9_B4_50a_max	31,9	996,9	1074,1
10_B4_50a_min	22,6	289,5	330,7
10_B4_50a_max	31,9	996,9	1074,1
11_B4_50a_min	22,6	289,5	330,7
11_B4_50a_max	31,9	996,9	1074,1
1_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_C3_min	45,0	3,2	-467,6
2_C3_max	45,0	3,2	-467,6
3_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_C3_min	67,4	27,2	-583,6
4_C3_max	67,4	27,2	-583,6
5_C3_min	50,3	23,5	-491,6
5_C3_max	59,6	29,9	-580,9
6_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_C3_min	61,4	2,5	-381,4
9_C3_max	215,9	2,3	-1980,3
10_C3_min	61,4	2,5	-381,4
10_C3_max	215,9	2,3	-1980,3
11_C3_min	61,4	2,5	-381,4
11_C3_max	215,9	2,3	-1980,3
1_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_C4_min	1,0	14,9	16,0
2_C4_max	1,0	14,9	16,0
3_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_C4_min	1,3	19,5	21,1
4_C4_max	1,3	19,5	21,1
5_C4_min	1,2	18,8	20,4
5_C4_max	1,3	20,3	22,1
6_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_C4_min	0,2	2,7	3,0
9_C4_max	1,7	25,6	27,8
10_C4_min	0,2	2,7	3,0
10_C4_max	1,7	25,6	27,8
11_C4_min	0,2	2,7	3,0
11_C4_max	1,7	25,6	27,8

1_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_D_min	-21,1	-281,7	82,0
2_D_max	-21,1	-281,7	82,0
3_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_D_min	-30,5	-399,4	64,6
4_D_max	-30,5	-399,4	64,6
5_D_min	-23,3	-311,7	86,8
5_D_max	-27,6	-369,0	103,7
6_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_D_min	-22,2	-372,5	-104,8
9_D_max	-95,7	-1445,9	45,8
10_D_min	-22,2	-372,5	-104,8
10_D_max	-95,7	-1445,9	45,8
11_D_min	-22,2	-372,5	-104,8
11_D_max	-95,7	-1445,9	45,8
1_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_DofB4_min	-0,2	-2,5	-3,3
4_DofB4_max	-0,2	-2,5	-3,3
5_DofB4_min	-0,2	-2,5	-3,3
5_DofB4_max	-0,2	-2,5	-3,3
6_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_DofB4_min	-2,0	-29,3	-37,6
9_DofB4_max	-5,5	-81,0	-104,2
10_DofB4_min	-2,0	-29,3	-37,6
10_DofB4_max	-5,5	-81,0	-104,2
11_DofB4_min	-2,0	-29,3	-37,6
11_DofB4_max	-5,5	-81,0	-104,2

Tabelle A. 24: Gebäudetrennwand über GOK bei 2-schaliger Außenwand, Altbau – SW2shelled_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	13,4	93,4	112,1
1_A1A3_max	13,4	93,4	112,1
2_A1A3_min	13,4	93,4	112,1
2_A1A3_max	18,6	128,0	154,0
3_A1A3_min	13,4	93,4	112,1
3_A1A3_max	42,5	263,1	311,3
4_A1A3_min	13,4	93,4	112,1
4_A1A3_max	34,4	214,0	253,2
5_A1A3_min	13,4	68,4	81,9
5_A1A3_max	25,0	221,8	301,8
6_A1A3_min	13,4	68,4	81,9
6_A1A3_max	31,7	280,9	382,2
7_A1A3_min	13,4	68,4	81,9
7_A1A3_max	31,7	280,9	382,2
8_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
9_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
10_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
10_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
11_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
11_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
1_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
1_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
8_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
9_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
10_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.

A.6 Übersichtstabellen über die baualterspezifischen Umweltwirkungen je Altbaukonstruktion

10_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
11_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
11_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
1_C3_min	-0,5	1,3	1,3
1_C3_max	-0,5	1,3	1,3
2_C3_min	-0,5	1,3	1,3
2_C3_max	-0,7	1,9	2,0
3_C3_min	-0,5	1,3	1,3
3_C3_max	0,5	10,4	11,4
4_C3_min	-0,5	1,3	1,3
4_C3_max	0,4	8,4	9,1
5_C3_min	0,5	5,9	7,5
5_C3_max	0,4	5,7	7,2
6_C3_min	0,5	5,9	7,5
6_C3_max	0,6	7,3	9,2
7_C3_min	0,5	5,9	7,5
7_C3_max	0,6	7,3	9,2
8_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
9_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
10_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
10_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
11_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
11_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
1_C4_min	0,6	8,6	9,7
1_C4_max	0,6	8,6	9,7
2_C4_min	0,6	8,6	9,7
2_C4_max	0,8	11,6	13,1
3_C4_min	0,6	8,6	9,7
3_C4_max	1,2	18,0	20,4
4_C4_min	0,6	8,6	9,7
4_C4_max	1,0	14,8	16,7
5_C4_min	0,0	0,0	0,0
5_C4_max	0,0	0,0	0,0
6_C4_min	0,0	0,0	0,0
6_C4_max	0,0	0,0	0,0
7_C4_min	0,0	0,0	0,0
7_C4_max	0,0	0,0	0,0
8_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
9_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
10_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
10_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
11_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
11_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
1_D_min	-0,3	-4,6	-5,0
1_D_max	-0,3	-4,6	-5,0
2_D_min	-0,3	-4,6	-5,0
2_D_max	-0,5	-6,7	-7,4
3_D_min	-0,3	-4,6	-5,0
3_D_max	0,0	0,0	0,0
4_D_min	-0,3	-4,6	-5,0
4_D_max	0,0	0,0	0,0
5_D_min	-1,6	-20,9	-28,0
5_D_max	-1,6	-20,3	-27,1
6_D_min	-1,6	-20,9	-28,0
6_D_max	-2,0	-25,7	-34,4
7_D_min	-1,6	-20,9	-28,0
7_D_max	-2,0	-25,7	-34,4
8_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
9_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
10_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
10_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
11_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
11_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
1_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
1_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
9_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
10_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
10_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
11_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
11_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.

Tabelle A. 25: Gebäudetrennwand über GOK bei Außenwand mit Vorhang- oder hinter-/bzw. belüfteter Fassade, Altbau – SWcwf_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	30,0	225,0	249,0
1_A1A3_max	30,0	225,0	249,0
2_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_A1A3_min	16,2	90,6	108,1
5_A1A3_max	34,4	214,0	253,2
6_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
9_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
10_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
10_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
11_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
11_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
1_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
1_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
9_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
10_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
10_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
11_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
11_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
1_C3_min	2,6	43,6	48,3
1_C3_max	2,6	43,6	48,3
2_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_C3_min	0,5	6,3	8,0
5_C3_max	0,4	8,4	9,1
6_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
9_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
10_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
10_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
11_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
11_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
1_C4_min	1,6	23,4	26,4
1_C4_max	1,6	23,4	26,4
2_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_C4_min	0,1	2,0	2,2
5_C4_max	1,0	14,8	16,7
6_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
9_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
10_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
10_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
11_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
11_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.

A.6 Übersichtstabellen über die baualterspezifischen Umweltwirkungen je Altbaukonstruktion

11_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
1_D_min	-0,8	-10,7	-13,7
1_D_max	-0,8	-10,7	-13,7
2_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_D_min	-1,7	-22,3	-29,8
5_D_max	0,0	0,0	0,0
6_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
9_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
10_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
10_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
11_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
11_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
1_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
1_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
9_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
10_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
10_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
11_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
11_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.

Tabelle A. 26: Gebäudetrennwand über GOK bei massiver, monolithischer Außenwand, Altbau – SWmas_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	20,1	97,8	119,8
1_A1A3_max	50,4	339,3	408,9
2_A1A3_min	14,4	102,2	122,5
2_A1A3_max	50,4	339,3	408,9
3_A1A3_min	16,4	115,4	138,5
3_A1A3_max	50,4	339,3	408,9
4_A1A3_min	19,4	94,6	115,8
4_A1A3_max	50,4	339,3	408,9
5_A1A3_min	16,4	115,4	138,5
5_A1A3_max	42,5	263,1	311,3
6_A1A3_min	24,8	169,0	203,4
6_A1A3_max	45,7	405,1	551,2
7_A1A3_min	24,8	169,0	203,4
7_A1A3_max	45,7	405,1	551,2
8_A1A3_min	25,8	177,9	213,8
8_A1A3_max	37,7	256,7	308,9
9_A1A3_min	23,8	157,5	194,5
9_A1A3_max	102,0	789,6	1036,8
10_A1A3_min	23,8	157,5	194,5
10_A1A3_max	102,0	789,6	1036,8
11_A1A3_min	23,8	157,5	194,5
11_A1A3_max	102,0	789,6	1036,8
1_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
1_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
8_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
8_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
9_B4_50a_min	0,7	8,8	10,1
9_B4_50a_max	1,4	17,5	20,2

10_B4_50a_min	0,7	8,8	10,1
10_B4_50a_max	1,4	17,5	20,2
11_B4_50a_min	0,7	8,8	10,1
11_B4_50a_max	1,4	17,5	20,2
1_C3_min	0,6	10,3	11,4
1_C3_max	-1,9	5,4	5,7
2_C3_min	-0,5	1,3	1,3
2_C3_max	-1,9	5,4	5,7
3_C3_min	-0,5	1,5	1,6
3_C3_max	-1,9	5,4	5,7
4_C3_min	0,6	9,9	10,9
4_C3_max	-1,9	5,4	5,7
5_C3_min	-0,5	1,5	1,6
5_C3_max	0,5	10,4	11,4
6_C3_min	-0,9	2,5	2,7
6_C3_max	0,8	10,5	13,2
7_C3_min	-0,9	2,5	2,7
7_C3_max	0,8	10,5	13,2
8_C3_min	-0,9	2,5	2,7
8_C3_max	-1,4	3,9	4,1
9_C3_min	0,3	5,3	5,8
9_C3_max	1,8	24,1	30,2
10_C3_min	0,3	5,3	5,8
10_C3_max	1,8	24,1	30,2
11_C3_min	0,3	5,3	5,8
11_C3_max	1,8	24,1	30,2
1_C4_min	1,1	15,3	17,3
1_C4_max	2,1	30,1	34,0
2_C4_min	0,7	9,6	10,8
2_C4_max	2,1	30,1	34,0
3_C4_min	0,7	10,7	12,1
3_C4_max	2,1	30,1	34,0
4_C4_min	1,0	14,8	16,7
4_C4_max	2,1	30,1	34,0
5_C4_min	0,7	10,7	12,1
5_C4_max	1,2	18,0	20,4
6_C4_min	1,0	15,2	17,2
6_C4_max	0,0	0,0	0,0
7_C4_min	1,0	15,2	17,2
7_C4_max	0,0	0,0	0,0
8_C4_min	1,1	16,2	18,3
8_C4_max	1,6	23,1	26,1
9_C4_min	0,2	2,5	2,8
9_C4_max	0,3	4,1	4,7
10_C4_min	0,2	2,5	2,8
10_C4_max	0,3	4,1	4,7
11_C4_min	0,2	2,5	2,8
11_C4_max	0,3	4,1	4,7
1_D_min	-0,2	-2,3	-3,0
1_D_max	-1,3	-19,6	-21,4
2_D_min	-0,3	-4,6	-5,0
2_D_max	-1,3	-19,6	-21,4
3_D_min	-0,4	-5,4	-5,9
3_D_max	-1,3	-19,6	-21,4
4_D_min	-0,2	-2,2	-2,9
4_D_max	-1,3	-19,6	-21,4
5_D_min	-0,4	-5,4	-5,9
5_D_max	0,0	0,0	0,0
6_D_min	-0,6	-9,2	-10,1
6_D_max	-2,8	-37,1	-49,6
7_D_min	-0,6	-9,2	-10,1
7_D_max	-2,8	-37,1	-49,6
8_D_min	-0,6	-9,2	-10,1
8_D_max	-1,0	-14,0	-15,3
9_D_min	-0,1	-1,2	-1,5
9_D_max	-6,3	-82,0	-109,7
10_D_min	-0,1	-1,2	-1,5
10_D_max	-6,3	-82,0	-109,7
11_D_min	-0,1	-1,2	-1,5
11_D_max	-6,3	-82,0	-109,7
1_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
1_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

A.6 Übersichtstabellen über die baualterspezifischen Umweltwirkungen je Altbaukonstruktion

Tabelle A. 27: Gebäudetrennwand über GOK in Holzbauweise, Altbau – SWwood_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	-14,3	35,2	263,3
1_A1A3_max	29,3	265,6	431,9
2_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_A1A3_min	-8,1	128,9	337,6
9_A1A3_max	-69,7	857,8	2473,1
10_A1A3_min	-8,1	128,9	337,6
10_A1A3_max	-69,7	857,8	2473,1
11_A1A3_min	-8,1	128,9	337,6
11_A1A3_max	-69,7	857,8	2473,1
1_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
1_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_B4_50a_min	0,7	8,8	10,1
9_B4_50a_max	0,7	8,8	10,1
10_B4_50a_min	0,7	8,8	10,1
10_B4_50a_max	0,7	8,8	10,1
11_B4_50a_min	0,7	8,8	10,1
11_B4_50a_max	0,7	8,8	10,1
1_C3_min	14,8	4,2	-148,2
1_C3_max	7,4	4,4	-87,0
2_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_C3_min	16,7	1,1	-80,3
9_C3_max	128,7	-7,5	-658,7
10_C3_min	16,7	1,1	-80,3
10_C3_max	128,7	-7,5	-658,7
11_C3_min	16,7	1,1	-80,3
11_C3_max	128,7	-7,5	-658,7
1_C4_min	0,3	0,0	-3,4
1_C4_max	1,5	22,6	25,5
2_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_C4_min	0,5	6,7	7,5
9_C4_max	0,6	8,3	9,4
10_C4_min	0,5	6,7	7,5
10_C4_max	0,6	8,3	9,4
11_C4_min	0,5	6,7	7,5
11_C4_max	0,6	8,3	9,4

1_D_min	-6,9	-92,9	24,7
1_D_max	-5,0	-68,7	0,6
2_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_D_min	-6,4	-86,8	-34,9
9_D_max	-44,0	-745,7	-333,5
10_D_min	-6,4	-86,8	-34,9
10_D_max	-44,0	-745,7	-333,5
11_D_min	-6,4	-86,8	-34,9
11_D_max	-44,0	-745,7	-333,5
1_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
1_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

Tabelle A. 28: Innenwand in Massivbauweise, Altbau – IWmas_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	28,8	204,4	245,0
1_A1A3_max	127,6	860,2	1036,5
2_A1A3_min	21,2	153,9	184,1
2_A1A3_max	102,9	696,2	838,6
3_A1A3_min	19,3	141,3	168,9
3_A1A3_max	110,9	1089,9	1497,0
4_A1A3_min	19,3	141,3	168,9
4_A1A3_max	110,9	1089,9	1497,0
5_A1A3_min	19,3	141,3	168,9
5_A1A3_max	110,9	1089,9	1497,0
6_A1A3_min	19,5	142,6	170,4
6_A1A3_max	100,1	887,0	1207,1
7_A1A3_min	19,3	141,3	168,9
7_A1A3_max	100,1	887,0	1207,1
8_A1A3_min	19,3	141,3	168,9
8_A1A3_max	75,3	513,4	617,9
9_A1A3_min	20,0	184,2	220,5
9_A1A3_max	88,4	685,6	896,6
10_A1A3_min	20,0	184,2	220,5
10_A1A3_max	88,4	685,6	896,6
11_A1A3_min	20,0	184,2	220,5
11_A1A3_max	88,4	685,6	896,6
1_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
1_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
8_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
8_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
9_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
9_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
10_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0

A.6 Übersichtstabellen über die baualterspezifischen Umweltwirkungen je Altbaukonstruktion

10_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
11_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
11_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
1_C3_min	-0,9	2,5	2,7
1_C3_max	-4,8	13,6	14,3
2_C3_min	-0,6	1,7	1,8
2_C3_max	-3,8	10,8	11,4
3_C3_min	-0,5	1,5	1,6
3_C3_max	1,4	17,9	22,7
4_C3_min	-0,5	1,5	1,6
4_C3_max	1,4	17,9	22,7
5_C3_min	-0,5	1,5	1,6
5_C3_max	1,4	17,9	22,7
6_C3_min	-0,5	1,5	1,6
6_C3_max	1,7	22,9	28,9
7_C3_min	-0,5	1,5	1,6
7_C3_max	1,7	22,9	28,9
8_C3_min	-0,5	1,5	1,6
8_C3_max	-2,8	7,8	8,2
9_C3_min	-1,2	3,2	3,4
9_C3_max	1,5	19,3	24,4
10_C3_min	-1,2	3,2	3,4
10_C3_max	1,5	19,3	24,4
11_C3_min	-1,2	3,2	3,4
11_C3_max	1,5	19,3	24,4
1_C4_min	1,3	19,1	21,6
1_C4_max	5,2	76,5	86,4
2_C4_min	1,0	14,7	16,7
2_C4_max	4,3	62,1	70,2
3_C4_min	0,9	13,6	15,4
3_C4_max	0,4	5,9	6,7
4_C4_min	0,9	13,6	15,4
4_C4_max	0,4	5,9	6,7
5_C4_min	0,9	13,6	15,4
5_C4_max	0,4	5,9	6,7
6_C4_min	0,9	13,7	15,5
6_C4_max	0,0	0,0	0,0
7_C4_min	0,9	13,6	15,4
7_C4_max	0,0	0,0	0,0
8_C4_min	0,9	13,6	15,4
8_C4_max	3,2	46,1	52,1
9_C4_min	0,3	4,6	5,2
9_C4_max	0,5	7,9	8,9
10_C4_min	0,3	4,6	5,2
10_C4_max	0,5	7,9	8,9
11_C4_min	0,3	4,6	5,2
11_C4_max	0,5	7,9	8,9
1_D_min	-0,6	-9,2	-10,1
1_D_max	-3,4	-49,2	-53,8
2_D_min	-0,4	-6,2	-6,7
2_D_max	-2,7	-39,2	-42,9
3_D_min	-0,4	-5,4	-5,9
3_D_max	-4,9	-63,6	-85,1
4_D_min	-0,4	-5,4	-5,9
4_D_max	-4,9	-63,6	-85,1
5_D_min	-0,4	-5,4	-5,9
5_D_max	-4,9	-63,6	-85,1
6_D_min	-0,4	-5,5	-6,0
6_D_max	-6,2	-81,2	-108,6
7_D_min	-0,4	-5,4	-5,9
7_D_max	-6,2	-81,2	-108,6
8_D_min	-0,4	-5,4	-5,9
8_D_max	-1,9	-28,1	-30,7
9_D_min	-0,8	-11,8	-12,8
9_D_max	-5,2	-68,4	-91,4
10_D_min	-0,8	-11,8	-12,8
10_D_max	-5,2	-68,4	-91,4
11_D_min	-0,8	-11,8	-12,8
11_D_max	-5,2	-68,4	-91,4
1_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
1_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

Tabelle A. 29: Innenwand in Holzbauweise, Altbau – IWwood_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	9,2	203,4	468,1
1_A1A3_max	9,2	203,4	468,1
2_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_A1A3_min	-10,4	87,2	284,7
9_A1A3_max	-158,3	1060,5	4263,0
10_A1A3_min	-10,4	87,2	284,7
10_A1A3_max	-158,3	1060,5	4263,0
11_A1A3_min	-10,4	87,2	284,7
11_A1A3_max	-158,3	1060,5	4263,0
1_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
1_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
9_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
10_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
10_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
11_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
11_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
1_C3_min	16,7	3,3	-179,9
1_C3_max	16,7	3,3	-179,9
2_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_C3_min	16,7	0,6	-80,8
9_C3_max	235,8	-2,9	-2082,6
10_C3_min	16,7	0,6	-80,8
10_C3_max	235,8	-2,9	-2082,6
11_C3_min	16,7	0,6	-80,8
11_C3_max	235,8	-2,9	-2082,6
1_C4_min	1,1	16,5	18,7
1_C4_max	1,1	16,5	18,7
2_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_C4_min	0,3	4,4	5,0
9_C4_max	1,1	15,8	17,8
10_C4_min	0,3	4,4	5,0
10_C4_max	1,1	15,8	17,8
11_C4_min	0,3	4,4	5,0
11_C4_max	1,1	15,8	17,8

A.6 Übersichtstabellen über die baualterspezifischen Umweltwirkungen je Altbaukonstruktion

1_D_min	-8,7	-117,4	23,1
1_D_max	-8,7	-117,4	23,1
2_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_D_min	-6,4	-86,8	-34,9
9_D_max	-98,1	-1502,2	64,1
10_D_min	-6,4	-86,8	-34,9
10_D_max	-98,1	-1502,2	64,1
11_D_min	-6,4	-86,8	-34,9
11_D_max	-98,1	-1502,2	64,1
1_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
1_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

Tabelle A. 30: Steildach Altbau – PRO_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	-32,7	201,7	835,5
1_A1A3_max	-30,5	493,2	1015,8
2_A1A3_min	-3,8	387,6	810,5
2_A1A3_max	-1,2	488,0	1011,9
3_A1A3_min	8,8	230,2	362,5
3_A1A3_max	-21,0	509,1	1311,4
4_A1A3_min	-18,3	70,9	423,1
4_A1A3_max	-16,8	547,5	1320,1
5_A1A3_min	-18,3	70,9	423,1
5_A1A3_max	13,0	488,3	932,0
6_A1A3_min	-18,3	70,9	423,1
6_A1A3_max	4,8	503,8	882,6
7_A1A3_min	-18,3	70,9	423,1
7_A1A3_max	15,3	848,7	1419,6
8_A1A3_min	-14,7	76,9	399,0
8_A1A3_max	15,3	848,7	1419,6
9_A1A3_min	-41,8	277,3	1094,8
9_A1A3_max	-67,2	1110,0	2961,8
10_A1A3_min	-41,8	277,3	1094,8
10_A1A3_max	-67,2	1110,0	2961,8
11_A1A3_min	-41,8	277,3	1094,8
11_A1A3_max	-67,2	1110,0	2961,8
1_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
1_B4_50a_max	5,8	460,5	471,7
2_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_max	53,8	760,7	806,5
8_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
8_B4_50a_max	53,8	760,7	806,5
9_B4_50a_min	1,0	14,7	15,9
9_B4_50a_max	1,0	14,7	15,9
10_B4_50a_min	1,0	14,7	15,9

10_B4_50a_max	1,0	14,7	15,9
11_B4_50a_min	1,0	14,7	15,9
11_B4_50a_max	1,0	14,7	15,9
1_C3_min	47,4	6,1	-487,8
1_C3_max	39,4	2,8	-409,6
2_C3_min	28,5	8,6	-284,6
2_C3_max	41,9	8,9	-258,6
3_C3_min	8,3	5,3	-77,5
3_C3_max	63,5	10,4	-482,8
4_C3_min	26,7	3,1	-275,6
4_C3_max	61,1	11,4	-456,3
5_C3_min	26,7	3,1	-275,6
5_C3_max	32,8	15,6	-251,3
6_C3_min	26,7	3,1	-275,6
6_C3_max	26,1	11,3	-256,3
7_C3_min	26,7	3,1	-275,6
7_C3_max	44,6	4,1	-408,1
8_C3_min	24,3	3,3	-250,3
8_C3_max	44,6	4,1	-408,1
9_C3_min	63,3	4,8	-627,6
9_C3_max	145,0	4,4	-840,3
10_C3_min	63,3	4,8	-627,6
10_C3_max	145,0	4,4	-840,3
11_C3_min	63,3	4,8	-627,6
11_C3_max	145,0	4,4	-840,3
1_C4_min	0,0	0,0	0,0
1_C4_max	1,0	14,9	16,0
2_C4_min	0,3	2,0	-0,2
2_C4_max	0,1	2,0	2,2
3_C4_min	0,0	0,0	0,0
3_C4_max	0,1	2,0	2,2
4_C4_min	0,0	0,0	0,0
4_C4_max	1,3	2,3	2,5
5_C4_min	0,0	0,0	0,0
5_C4_max	0,8	12,0	13,6
6_C4_min	0,0	0,0	0,0
6_C4_max	3,1	2,9	3,3
7_C4_min	0,0	0,0	0,0
7_C4_max	0,7	10,4	11,3
8_C4_min	0,0	0,0	0,0
8_C4_max	0,7	10,4	11,3
9_C4_min	0,0	0,0	0,0
9_C4_max	0,4	5,5	6,2
10_C4_min	0,0	0,0	0,0
10_C4_max	0,4	5,5	6,2
11_C4_min	0,0	0,0	0,0
11_C4_max	0,4	5,5	6,2
1_D_min	-22,2	-296,3	85,2
1_D_max	-18,4	-246,8	71,7
2_D_min	-13,2	-177,6	48,7
2_D_max	-17,8	-223,1	-33,8
3_D_min	-4,1	-54,3	8,8
3_D_max	-27,9	-358,1	5,8
4_D_min	-12,4	-167,0	48,2
4_D_max	-27,4	-352,4	-9,1
5_D_min	-12,4	-167,0	48,2
5_D_max	-14,5	-188,2	11,1
6_D_min	-12,4	-167,0	48,2
6_D_max	-13,7	-186,2	18,2
7_D_min	-12,4	-167,0	48,2
7_D_max	-45,7	-471,3	-142,1
8_D_min	-11,3	-151,9	43,8
8_D_max	-45,7	-471,3	-142,1
9_D_min	-31,7	-423,0	55,2
9_D_max	-53,0	-846,9	-279,2
10_D_min	-31,7	-423,0	55,2
10_D_max	-53,0	-846,9	-279,2
11_D_min	-31,7	-423,0	55,2
11_D_max	-53,0	-846,9	-279,2
1_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
1_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_max	-27,3	-224,5	-213,8
8_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_max	-27,3	-224,5	-213,8
9_DofB4_min	-0,2	-2,8	-3,6
9_DofB4_max	-0,2	-2,8	-3,6
10_DofB4_min	-0,2	-2,8	-3,6
10_DofB4_max	-0,2	-2,8	-3,6
11_DofB4_min	-0,2	-2,8	-3,6
11_DofB4_max	-0,2	-2,8	-3,6

A.6 Übersichtstabellen über die baualterspezifischen Umweltwirkungen je Altbaukonstruktion

Tabelle A. 31: Gebäudetrennwand unter GOK, Altbau – SCW_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	26,7	184,2	221,4
1_A1A3_max	63,8	430,1	518,2
2_A1A3_min	14,4	102,2	122,5
2_A1A3_max	51,4	348,1	419,3
3_A1A3_min	25,8	177,9	213,8
3_A1A3_max	52,4	514,7	706,7
4_A1A3_min	25,8	177,9	213,8
4_A1A3_max	52,4	514,7	706,7
5_A1A3_min	25,8	177,9	213,8
5_A1A3_max	52,4	514,7	706,7
6_A1A3_min	38,6	208,9	249,6
6_A1A3_max	37,4	331,2	450,6
7_A1A3_min	38,6	208,9	249,6
7_A1A3_max	53,0	470,1	634,7
8_A1A3_min	37,7	256,7	308,9
8_A1A3_max	53,0	470,1	634,7
9_A1A3_min	28,2	205,8	242,0
9_A1A3_max	103,4	858,4	1108,3
10_A1A3_min	28,2	205,8	242,0
10_A1A3_max	104,4	886,8	1138,5
11_A1A3_min	28,2	205,8	242,0
11_A1A3_max	105,1	908,0	1161,1
1_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
1_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
8_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
8_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
9_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
9_B4_50a_max	6,4	85,7	91,2
10_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
10_B4_50a_max	8,6	114,3	121,6
11_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
11_B4_50a_max	10,2	135,7	144,3
1_C3_min	-0,9	2,7	2,8
1_C3_max	-2,4	6,8	7,2
2_C3_min	-0,5	1,3	1,3
2_C3_max	-1,9	5,4	5,7
3_C3_min	-0,9	2,5	2,7
3_C3_max	0,6	8,4	10,7
4_C3_min	-0,9	2,5	2,7
4_C3_max	0,6	8,4	10,7
5_C3_min	-0,9	2,5	2,7
5_C3_max	0,6	8,4	10,7
6_C3_min	1,2	15,7	19,9
6_C3_max	0,7	8,5	10,8
7_C3_min	1,2	15,7	19,9
7_C3_max	0,9	11,5	14,5
8_C3_min	-1,4	3,9	4,1
8_C3_max	0,9	11,5	14,5
9_C3_min	0,5	10,6	11,5
9_C3_max	5,3	23,7	29,9
10_C3_min	0,5	10,6	11,5
10_C3_max	6,5	23,8	30,1
11_C3_min	0,5	10,6	11,5
11_C3_max	7,4	24,0	30,2
1_C4_min	1,1	16,7	18,9
1_C4_max	2,6	38,2	43,2
2_C4_min	0,7	9,6	10,8
2_C4_max	2,1	31,1	35,1
3_C4_min	1,1	16,2	18,3
3_C4_max	0,2	3,0	3,3
4_C4_min	1,1	16,2	18,3
4_C4_max	0,2	3,0	3,3
5_C4_min	1,1	16,2	18,3
5_C4_max	0,2	3,0	3,3
6_C4_min	0,2	3,0	3,3
6_C4_max	0,0	0,0	0,0
7_C4_min	0,2	3,0	3,3
7_C4_max	0,2	3,0	3,3
8_C4_min	1,6	23,1	26,1
8_C4_max	0,2	3,0	3,3
9_C4_min	0,0	0,4	0,4
9_C4_max	0,3	3,9	4,5
10_C4_min	0,0	0,4	0,4
10_C4_max	0,3	3,9	4,5
11_C4_min	0,0	0,4	0,4
11_C4_max	0,3	3,9	4,5

1_D_min	-0,7	-9,6	-10,5
1_D_max	-1,7	-24,6	-26,9
2_D_min	-0,3	-4,6	-5,0
2_D_max	-1,3	-19,6	-21,4
3_D_min	-0,6	-9,2	-10,1
3_D_max	-2,3	-30,0	-40,1
4_D_min	-0,6	-9,2	-10,1
4_D_max	-2,3	-30,0	-40,1
5_D_min	-0,6	-9,2	-10,1
5_D_max	-2,3	-30,0	-40,1
6_D_min	-4,3	-55,8	-74,6
6_D_max	-2,3	-30,3	-40,5
7_D_min	-4,3	-55,8	-74,6
7_D_max	-3,1	-40,6	-54,3
8_D_min	-1,0	-14,0	-15,3
8_D_max	-3,1	-40,6	-54,3
9_D_min	0,0	0,0	0,0
9_D_max	-7,8	-103,8	-137,6
10_D_min	0,0	0,0	0,0
10_D_max	-8,3	-111,0	-147,0
11_D_min	0,0	0,0	0,0
11_D_max	-8,6	-116,4	-153,9
1_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
1_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_max	-1,5	-21,7	-27,9
10_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_max	-2,0	-29,0	-37,3
11_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_max	-2,4	-34,4	-44,3

Tabelle A. 32: Oberste Geschossdecke in Massivbauweise, Altbau – TFLmas_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq/m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_A1A3_min	45,6	323,1	457,8
3_A1A3_max	81,6	996,8	1223,8
4_A1A3_min	45,1	354,6	536,6
4_A1A3_max	81,6	996,8	1223,8
5_A1A3_min	33,0	230,6	272,6
5_A1A3_max	81,6	996,8	1223,8
6_A1A3_min	33,0	230,6	272,6
6_A1A3_max	81,6	996,8	1223,8
7_A1A3_min	33,0	230,6	272,6
7_A1A3_max	81,6	996,8	1223,8
8_A1A3_min	86,6	880,1	1179,9
8_A1A3_max	86,6	880,1	1179,9
9_A1A3_min	62,2	580,9	710,1
9_A1A3_max	55,5	1085,3	2005,7
10_A1A3_min	62,2	580,9	710,1
10_A1A3_max	55,5	1085,3	2005,7
11_A1A3_min	62,2	580,9	710,1
11_A1A3_max	55,5	1085,3	2005,7
1_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
8_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
8_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
9_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
9_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
10_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0

A.6 Übersichtstabellen über die baualterspezifischen Umweltwirkungen je Altbaukonstruktion

10_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
11_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
11_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
<hr/>			
1_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_C3_min	8,8	12,0	15,2
3_C3_max	1,1	15,3	19,0
4_C3_min	13,6	12,1	15,4
4_C3_max	1,1	15,3	19,0
5_C3_min	1,0	16,1	19,2
5_C3_max	1,1	15,3	19,0
6_C3_min	1,0	16,1	19,2
6_C3_max	1,1	15,3	19,0
7_C3_min	1,0	16,1	19,2
7_C3_max	1,1	15,3	19,0
8_C3_min	6,2	15,8	19,2
8_C3_max	6,2	15,8	19,2
9_C3_min	1,4	28,6	32,6
9_C3_max	63,3	19,2	24,4
10_C3_min	1,4	28,6	32,6
10_C3_max	63,3	19,2	24,4
11_C3_min	1,4	28,6	32,6
11_C3_max	63,3	19,2	24,4
<hr/>			
1_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_C4_min	1,6	23,0	26,0
3_C4_max	2,0	30,0	33,2
4_C4_min	1,6	23,0	26,0
4_C4_max	2,0	30,0	33,2
5_C4_min	0,1	1,1	1,3
5_C4_max	2,0	30,0	33,2
6_C4_min	0,1	1,1	1,3
6_C4_max	2,0	30,0	33,2
7_C4_min	0,1	1,1	1,3
7_C4_max	2,0	30,0	33,2
8_C4_min	2,6	22,2	25,1
8_C4_max	2,6	22,2	25,1
9_C4_min	0,2	3,6	4,1
9_C4_max	0,6	9,4	10,7
10_C4_min	0,2	3,6	4,1
10_C4_max	0,6	9,4	10,7
11_C4_min	0,2	3,6	4,1
11_C4_max	0,6	9,4	10,7
<hr/>			
1_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_D_min	-6,1	-72,2	-95,1
3_D_max	-3,7	-48,7	-65,1
4_D_min	-7,8	-90,5	-118,5
4_D_max	-3,7	-48,7	-65,1
5_D_min	-3,0	-39,1	-52,2
5_D_max	-3,7	-48,7	-65,1
6_D_min	-3,0	-39,1	-52,2
6_D_max	-3,7	-48,7	-65,1
7_D_min	-3,0	-39,1	-52,2
7_D_max	-3,7	-48,7	-65,1
8_D_min	-6,0	-81,5	-105,3
8_D_max	-6,0	-81,5	-105,3
9_D_min	-3,4	-44,2	-59,1
9_D_max	-21,4	-350,1	-453,7
10_D_min	-3,4	-44,2	-59,1
10_D_max	-21,4	-350,1	-453,7
11_D_min	-3,4	-44,2	-59,1
11_D_max	-21,4	-350,1	-453,7
<hr/>			
1_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

Tabelle A. 33: Oberste Geschossdecke in Holzbauweise, Altbau – TFLwood_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	-56,8	84,9	921,2
1_A1A3_max	-50,8	216,1	1148,8
2_A1A3_min	-56,8	84,9	921,2
2_A1A3_max	-54,9	206,0	1194,1
3_A1A3_min	-49,5	58,5	763,9
3_A1A3_max	-49,0	181,3	1047,4
4_A1A3_min	-63,5	91,3	1021,7
4_A1A3_max	-49,5	212,8	1126,2
5_A1A3_min	-28,2	100,1	573,0
5_A1A3_max	-50,1	239,1	1175,1
6_A1A3_min	-21,1	156,5	635,4
6_A1A3_max	-41,0	175,6	931,4
7_A1A3_min	-21,1	156,5	635,4
7_A1A3_max	-41,0	175,6	931,4
8_A1A3_min	-32,6	152,2	772,6
8_A1A3_max	-41,0	175,6	931,4
9_A1A3_min	-35,3	378,3	1085,4
9_A1A3_max	-148,3	836,4	3688,2
10_A1A3_min	-41,9	387,1	1172,0
10_A1A3_max	-161,0	963,9	4071,3
11_A1A3_min	-41,9	387,1	1172,0
11_A1A3_max	-161,0	963,9	4071,3
1_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
1_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
8_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
8_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
9_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
9_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
10_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
10_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
11_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
11_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
1_C3_min	62,7	9,5	-643,7
1_C3_max	66,9	10,8	-533,8
2_C3_min	62,7	9,5	-643,7
2_C3_max	74,7	11,2	-767,1
3_C3_min	54,5	3,9	-566,2
3_C3_max	70,3	4,3	-565,6
4_C3_min	70,7	11,3	-725,2
4_C3_max	75,1	4,4	-565,4
5_C3_min	35,4	3,9	-365,9
5_C3_max	76,7	4,5	-565,3
6_C3_min	37,8	4,4	-307,7
6_C3_max	59,3	6,0	-531,3
7_C3_min	37,8	4,4	-307,7
7_C3_max	59,3	6,0	-531,3
8_C3_min	48,9	4,4	-424,5
8_C3_max	59,3	6,0	-531,3
9_C3_min	56,1	-11,0	-488,1
9_C3_max	208,8	-3,4	-2035,2
10_C3_min	65,0	-10,9	-494,7
10_C3_max	232,2	-3,2	-2034,7
11_C3_min	65,0	-10,9	-494,7
11_C3_max	232,2	-3,2	-2034,7
1_C4_min	0,3	2,0	-0,2
1_C4_max	0,7	2,0	-4,6
2_C4_min	0,3	2,0	-0,2
2_C4_max	0,2	3,0	3,3
3_C4_min	0,0	0,0	0,0
3_C4_max	0,1	2,0	2,2
4_C4_min	0,3	2,0	0,6
4_C4_max	0,1	2,0	2,2
5_C4_min	0,2	2,5	2,8
5_C4_max	0,2	2,2	2,5
6_C4_min	0,2	3,4	3,9
6_C4_max	0,2	3,4	3,9
7_C4_min	0,2	3,4	3,9
7_C4_max	0,2	3,4	3,9
8_C4_min	0,2	3,2	3,7
8_C4_max	0,2	3,4	3,9
9_C4_min	0,3	4,4	5,0
9_C4_max	0,8	11,0	12,4
10_C4_min	0,3	4,4	5,0
10_C4_max	0,8	11,0	12,4
11_C4_min	0,3	4,4	5,0
11_C4_max	0,8	11,0	12,4

A.6 Übersichtstabellen über die baualterspezifischen Umweltwirkungen je Altbaukonstruktion

1_D_min	-29,3	-391,0	114,3
1_D_max	-29,2	-390,1	103,0
2_D_min	-29,3	-391,0	114,3
2_D_max	-35,3	-471,9	129,1
3_D_min	-25,6	-341,0	99,6
3_D_max	-31,2	-401,8	21,5
4_D_min	-33,1	-440,8	129,0
4_D_max	-32,9	-420,0	-2,0
5_D_min	-16,6	-221,3	64,4
5_D_max	-33,5	-426,1	-9,8
6_D_min	-16,8	-217,3	15,0
6_D_max	-26,9	-351,9	54,6
7_D_min	-16,8	-217,3	15,0
7_D_max	-26,9	-351,9	54,6
8_D_min	-22,0	-287,1	35,5
8_D_max	-26,9	-351,9	54,6
9_D_min	-21,6	-385,5	-33,5
9_D_max	-90,1	-1371,9	186,3
10_D_min	-24,4	-424,4	-77,2
10_D_max	-96,3	-1479,6	47,8
11_D_min	-24,4	-424,4	-77,2
11_D_max	-96,3	-1479,6	47,8
1_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
1_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

Tabelle A. 34: Alurahmen-Fenster, Altbau – Walu_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_A1A3_min	38,5	526,5	644,6
2_A1A3_max	270,5	3731,6	4800,2
3_A1A3_min	38,5	526,5	644,6
3_A1A3_max	270,5	3731,6	4800,2
4_A1A3_min	38,5	526,5	644,6
4_A1A3_max	270,5	3731,6	4800,2
5_A1A3_min	38,5	526,5	644,6
5_A1A3_max	270,5	3731,6	4800,2
6_A1A3_min	58,3	793,4	951,5
6_A1A3_max	270,5	3731,6	4800,2
7_A1A3_min	58,3	793,4	951,5
7_A1A3_max	180,4	2528,7	3183,1
8_A1A3_min	58,3	793,4	951,5
8_A1A3_max	180,4	2528,7	3183,1
9_A1A3_min	58,3	793,4	951,5
9_A1A3_max	188,7	2635,8	3300,6
10_A1A3_min	67,6	891,8	1063,7
10_A1A3_max	188,7	2635,8	3300,6
11_A1A3_min	67,6	891,8	1063,7
11_A1A3_max	188,7	2635,8	3300,6
1_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_B4_50a_min	14,8	191,3	214,3
2_B4_50a_max	22,9	306,8	373,5
3_B4_50a_min	14,8	191,3	214,3
3_B4_50a_max	22,9	306,8	373,5
4_B4_50a_min	14,8	191,3	214,3
4_B4_50a_max	22,9	306,8	373,5
5_B4_50a_min	14,8	191,3	214,3
5_B4_50a_max	22,9	306,8	373,5
6_B4_50a_min	33,7	439,8	504,5
6_B4_50a_max	22,9	306,8	373,5
7_B4_50a_min	33,7	439,8	504,5
7_B4_50a_max	25,0	313,2	373,0
8_B4_50a_min	33,7	439,8	504,5
8_B4_50a_max	25,0	313,2	373,0
9_B4_50a_min	33,7	439,8	504,5
9_B4_50a_max	34,0	421,4	492,0
10_B4_50a_min	44,4	538,9	617,5

10_B4_50a_max	34,0	421,4	492,0
11_B4_50a_min	44,4	538,9	617,5
11_B4_50a_max	34,0	421,4	492,0
1_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_C3_min	0,4	0,1	0,1
2_C3_max	0,8	0,2	0,2
3_C3_min	0,4	0,1	0,1
3_C3_max	0,8	0,2	0,2
4_C3_min	0,4	0,1	0,1
4_C3_max	0,8	0,2	0,2
5_C3_min	0,4	0,1	0,1
5_C3_max	0,8	0,2	0,2
6_C3_min	1,4	0,6	0,7
6_C3_max	0,8	0,2	0,2
7_C3_min	1,4	0,6	0,7
7_C3_max	7,2	3,6	4,1
8_C3_min	1,4	0,6	0,7
8_C3_max	7,2	3,6	4,1
9_C3_min	1,4	0,6	0,7
9_C3_max	7,8	3,9	4,4
10_C3_min	2,8	1,3	1,5
10_C3_max	7,8	3,9	4,4
11_C3_min	2,8	1,3	1,5
11_C3_max	7,8	3,9	4,4
1_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_C4_min	0,1	2,2	2,4
2_C4_max	0,1	1,9	2,2
3_C4_min	0,1	2,2	2,4
3_C4_max	0,1	1,9	2,2
4_C4_min	0,1	2,2	2,4
4_C4_max	0,1	1,9	2,2
5_C4_min	0,1	2,2	2,4
5_C4_max	0,1	1,9	2,2
6_C4_min	0,3	4,3	4,9
6_C4_max	0,1	1,9	2,2
7_C4_min	0,3	4,3	4,9
7_C4_max	0,1	1,9	2,2
8_C4_min	0,3	4,3	4,9
8_C4_max	0,1	1,9	2,2
9_C4_min	0,3	4,3	4,9
9_C4_max	0,2	2,9	3,2
10_C4_min	0,3	4,3	4,9
10_C4_max	0,2	2,9	3,2
11_C4_min	0,3	4,3	4,9
11_C4_max	0,2	2,9	3,2
1_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_D_min	-15,0	-199,6	-264,4
2_D_max	-158,4	-2104,6	-2791,0
3_D_min	-15,0	-199,6	-264,4
3_D_max	-158,4	-2104,6	-2791,0
4_D_min	-15,0	-199,6	-264,4
4_D_max	-158,4	-2104,6	-2791,0
5_D_min	-15,0	-199,6	-264,4
5_D_max	-158,4	-2104,6	-2791,0
6_D_min	-20,5	-271,9	-357,0
6_D_max	-158,4	-2104,6	-2791,0
7_D_min	-20,5	-271,9	-357,0
7_D_max	-100,5	-1338,4	-1773,3
8_D_min	-20,5	-271,9	-357,0
8_D_max	-100,5	-1338,4	-1773,3
9_D_min	-20,5	-271,9	-357,0
9_D_max	-100,8	-1342,5	-1778,6
10_D_min	-21,1	-281,2	-368,9
10_D_max	-100,8	-1342,5	-1778,6
11_D_min	-21,1	-281,2	-368,9
11_D_max	-100,8	-1342,5	-1778,6
1_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_DofB4_min	-0,2	-3,3	-4,2
2_DofB4_max	-4,8	-63,9	-80,6
3_DofB4_min	-0,2	-3,3	-4,2
3_DofB4_max	-4,8	-63,9	-80,6
4_DofB4_min	-0,2	-3,3	-4,2
4_DofB4_max	-4,8	-63,9	-80,6
5_DofB4_min	-0,2	-3,3	-4,2
5_DofB4_max	-4,8	-63,9	-80,6
6_DofB4_min	-4,6	-60,6	-76,4
6_DofB4_max	-4,8	-63,9	-80,6
7_DofB4_min	-4,6	-60,6	-76,4
7_DofB4_max	-4,9	-64,7	-81,6
8_DofB4_min	-4,6	-60,6	-76,4
8_DofB4_max	-4,9	-64,7	-81,6
9_DofB4_min	-4,6	-60,6	-76,4
9_DofB4_max	-5,2	-68,8	-86,9
10_DofB4_min	-5,3	-69,9	-88,3
10_DofB4_max	-5,2	-68,8	-86,9
11_DofB4_min	-5,3	-69,9	-88,3
11_DofB4_max	-5,2	-68,8	-86,9

A.6 Übersichtstabellen über die baualterspezifischen Umweltwirkungen je Altbaukonstruktion

Tabelle A. 35: Kunststoffrahmen-Fenster, Altbau – Wplas_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_A1A3_min	32,1	480,5	543,0
3_A1A3_max	192,7	3180,2	3580,1
4_A1A3_min	32,1	480,5	543,0
4_A1A3_max	192,7	3180,2	3580,1
5_A1A3_min	32,1	480,5	543,0
5_A1A3_max	192,7	3180,2	3580,1
6_A1A3_min	46,0	657,6	742,9
6_A1A3_max	192,7	3180,2	3580,1
7_A1A3_min	46,0	657,6	742,9
7_A1A3_max	106,8	1714,0	1930,9
8_A1A3_min	46,0	657,6	742,9
8_A1A3_max	106,8	1714,0	1930,9
9_A1A3_min	46,0	657,6	742,9
9_A1A3_max	119,9	1930,5	2172,5
10_A1A3_min	55,3	756,0	855,1
10_A1A3_max	119,9	1930,5	2172,5
11_A1A3_min	55,3	756,0	855,1
11_A1A3_max	119,9	1930,5	2172,5
1_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_B4_50a_min	35,8	442,4	496,8
3_B4_50a_max	274,7	3319,3	3763,7
4_B4_50a_min	35,8	442,4	496,8
4_B4_50a_max	274,7	3319,3	3763,7
5_B4_50a_min	35,8	442,4	496,8
5_B4_50a_max	274,7	3319,3	3763,7
6_B4_50a_min	54,7	690,8	787,0
6_B4_50a_max	274,7	3319,3	3763,7
7_B4_50a_min	54,7	690,8	787,0
7_B4_50a_max	150,9	1819,4	2068,1
8_B4_50a_min	54,7	690,8	787,0
8_B4_50a_max	150,9	1819,4	2068,1
9_B4_50a_min	54,7	690,8	787,0
9_B4_50a_max	169,0	2046,4	2323,0
10_B4_50a_min	65,4	789,9	900,1
10_B4_50a_max	169,0	2046,4	2323,0
11_B4_50a_min	65,4	789,9	900,1
11_B4_50a_max	169,0	2046,4	2323,0
1_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_C3_min	7,4	15,0	19,2
3_C3_max	84,7	178,5	229,1
4_C3_min	7,4	15,0	19,2
4_C3_max	84,7	178,5	229,1
5_C3_min	7,4	15,0	19,2
5_C3_max	84,7	178,5	229,1
6_C3_min	7,4	15,0	19,2
6_C3_max	84,7	178,5	229,1
7_C3_min	7,4	15,0	19,2
7_C3_max	42,9	89,6	114,9
8_C3_min	7,4	15,0	19,2
8_C3_max	42,9	89,6	114,9
9_C3_min	7,4	15,0	19,2
9_C3_max	47,9	99,1	127,1
10_C3_min	8,8	15,6	20,0
10_C3_max	47,9	99,1	127,1
11_C3_min	8,8	15,6	20,0
11_C3_max	47,9	99,1	127,1
1_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_C4_min	0,1	2,2	2,4
3_C4_max	0,1	1,9	2,2
4_C4_min	0,1	2,2	2,4
4_C4_max	0,1	1,9	2,2
5_C4_min	0,1	2,2	2,4
5_C4_max	0,1	1,9	2,2
6_C4_min	0,3	4,3	4,9
6_C4_max	0,1	1,9	2,2
7_C4_min	0,3	4,3	4,9
7_C4_max	0,1	1,9	2,2
8_C4_min	0,3	4,3	4,9
8_C4_max	0,1	1,9	2,2
9_C4_min	0,3	4,3	4,9
9_C4_max	0,2	2,9	3,2
10_C4_min	0,3	4,3	4,9
10_C4_max	0,2	2,9	3,2
11_C4_min	0,3	4,3	4,9
11_C4_max	0,2	2,9	3,2

1_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_D_min	-7,7	-83,1	-95,9
3_D_max	-70,8	-706,5	-769,2
4_D_min	-7,7	-83,1	-95,9
4_D_max	-70,8	-706,5	-769,2
5_D_min	-7,7	-83,1	-95,9
5_D_max	-70,8	-706,5	-769,2
6_D_min	-9,9	-110,7	-129,2
6_D_max	-70,8	-706,5	-769,2
7_D_min	-9,9	-110,7	-129,2
7_D_max	-36,8	-371,1	-406,5
8_D_min	-9,9	-110,7	-129,2
8_D_max	-36,8	-371,1	-406,5
9_D_min	-9,9	-110,7	-129,2
9_D_max	-38,0	-389,3	-429,9
10_D_min	-10,5	-119,9	-141,1
10_D_max	-38,0	-389,3	-429,9
11_D_min	-10,5	-119,9	-141,1
11_D_max	-38,0	-389,3	-429,9
1_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_DofB4_min	-5,5	-54,5	-58,6
3_DofB4_max	-68,7	-679,1	-733,4
4_DofB4_min	-5,5	-54,5	-58,6
4_DofB4_max	-68,7	-679,1	-733,4
5_DofB4_min	-5,5	-54,5	-58,6
5_DofB4_max	-68,7	-679,1	-733,4
6_DofB4_min	-9,9	-111,9	-130,8
6_DofB4_max	-68,7	-679,1	-733,4
7_DofB4_min	-9,9	-111,9	-130,8
7_DofB4_max	-36,9	-372,3	-408,0
8_DofB4_min	-9,9	-111,9	-130,8
8_DofB4_max	-36,9	-372,3	-408,0
9_DofB4_min	-9,9	-111,9	-130,8
9_DofB4_max	-38,1	-390,5	-431,4
10_DofB4_min	-10,6	-121,1	-142,7
10_DofB4_max	-38,1	-390,5	-431,4
11_DofB4_min	-10,6	-121,1	-142,7
11_DofB4_max	-38,1	-390,5	-431,4

Tabelle A. 36: Holzrahmen-Fenster, Altbau – Wwood_old: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq/m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	17,6	332,4	514,1
1_A1A3_max	19,8	1402,7	3233,4
2_A1A3_min	17,6	332,4	514,1
2_A1A3_max	19,8	1402,7	3233,4
3_A1A3_min	17,6	332,4	514,1
3_A1A3_max	19,8	1402,7	3233,4
4_A1A3_min	17,6	332,4	514,1
4_A1A3_max	19,8	1402,7	3233,4
5_A1A3_min	17,6	332,4	514,1
5_A1A3_max	19,8	1402,7	3233,4
6_A1A3_min	31,6	509,5	714,0
6_A1A3_max	19,8	1402,7	3233,4
7_A1A3_min	31,6	509,5	714,0
7_A1A3_max	20,4	825,2	1757,5
8_A1A3_min	31,6	509,5	714,0
8_A1A3_max	20,4	825,2	1757,5
9_A1A3_min	31,6	509,5	714,0
9_A1A3_max	28,7	932,3	1875,1
10_A1A3_min	40,9	607,9	826,2
10_A1A3_max	29,3	1513,8	3354,8
11_A1A3_min	40,9	607,9	826,2
11_A1A3_max	29,3	1513,8	3354,8
1_B4_50a_min	20,8	279,4	448,9
1_B4_50a_max	95,4	1364,4	3189,4
2_B4_50a_min	20,8	279,4	448,9
2_B4_50a_max	95,4	1364,4	3189,4
3_B4_50a_min	20,8	279,4	448,9
3_B4_50a_max	95,4	1364,4	3189,4
4_B4_50a_min	20,8	279,4	448,9
4_B4_50a_max	95,4	1364,4	3189,4
5_B4_50a_min	20,8	279,4	448,9
5_B4_50a_max	95,4	1364,4	3189,4
6_B4_50a_min	39,8	527,9	739,2
6_B4_50a_max	95,4	1364,4	3189,4
7_B4_50a_min	39,8	527,9	739,2
7_B4_50a_max	61,3	841,9	1781,0
8_B4_50a_min	39,8	527,9	739,2
8_B4_50a_max	61,3	841,9	1781,0
9_B4_50a_min	39,8	527,9	739,2
9_B4_50a_max	70,2	950,2	1899,9
10_B4_50a_min	50,5	627,0	852,2

A.6 Übersichtstabellen über die baualterspezifischen Umweltwirkungen je Altbaukonstruktion

10_B4_50a_max	105,6	1476,7	3312,3
11_B4_50a_min	50,5	627,0	852,2
11_B4_50a_max	105,6	1476,7	3312,3
1_C3_min	6,9	0,2	0,2
1_C3_max	78,3	1,1	1,6
2_C3_min	6,9	0,2	0,2
2_C3_max	78,3	1,1	1,6
3_C3_min	6,9	0,2	0,2
3_C3_max	78,3	1,1	1,6
4_C3_min	6,9	0,2	0,2
4_C3_max	78,3	1,1	1,6
5_C3_min	6,9	0,2	0,2
5_C3_max	78,3	1,1	1,6
6_C3_min	6,9	0,2	0,2
6_C3_max	78,3	1,1	1,6
7_C3_min	6,9	0,2	0,2
7_C3_max	39,8	0,8	1,2
8_C3_min	6,9	0,2	0,2
8_C3_max	39,8	0,8	1,2
9_C3_min	6,9	0,2	0,2
9_C3_max	40,4	1,1	1,5
10_C3_min	8,2	0,8	1,1
10_C3_max	78,9	1,3	1,9
11_C3_min	8,2	0,8	1,1
11_C3_max	78,9	1,3	1,9
1_C4_min	0,1	2,2	2,4
1_C4_max	0,1	1,9	2,2
2_C4_min	0,1	2,2	2,4
2_C4_max	0,1	1,9	2,2
3_C4_min	0,1	2,2	2,4
3_C4_max	0,1	1,9	2,2
4_C4_min	0,1	2,2	2,4
4_C4_max	0,1	1,9	2,2
5_C4_min	0,1	2,2	2,4
5_C4_max	0,1	1,9	2,2
6_C4_min	0,3	4,3	4,9
6_C4_max	0,1	1,9	2,2
7_C4_min	0,3	4,3	4,9
7_C4_max	0,1	1,9	2,2
8_C4_min	0,3	4,3	4,9
8_C4_max	0,1	1,9	2,2
9_C4_min	0,3	4,3	4,9
9_C4_max	0,2	2,9	3,2
10_C4_min	0,3	4,3	4,9
10_C4_max	0,2	2,9	3,2
11_C4_min	0,3	4,3	4,9
11_C4_max	0,2	2,9	3,2
1_D_min	-5,0	-71,5	-92,9
1_D_max	-38,0	-566,8	-732,1
2_D_min	-5,0	-71,5	-92,9
2_D_max	-38,0	-566,8	-732,1
3_D_min	-5,0	-71,5	-92,9
3_D_max	-38,0	-566,8	-732,1
4_D_min	-5,0	-71,5	-92,9
4_D_max	-38,0	-566,8	-732,1
5_D_min	-5,0	-71,5	-92,9
5_D_max	-38,0	-566,8	-732,1
6_D_min	-7,1	-99,1	-126,1
6_D_max	-38,0	-566,8	-732,1
7_D_min	-7,1	-99,1	-126,1
7_D_max	-20,3	-301,3	-388,0
8_D_min	-7,1	-99,1	-126,1
8_D_max	-20,3	-301,3	-388,0
9_D_min	-7,1	-99,1	-126,1
9_D_max	-20,6	-305,4	-393,3
10_D_min	-7,8	-108,3	-138,0
10_D_max	-38,2	-570,9	-737,4
11_D_min	-7,8	-108,3	-138,0
11_D_max	-38,2	-570,9	-737,4
1_DofB4_min	-2,8	-42,9	-55,5
1_DofB4_max	-35,9	-539,4	-696,3
2_DofB4_min	-2,8	-42,9	-55,5
2_DofB4_max	-35,9	-539,4	-696,3
3_DofB4_min	-2,8	-42,9	-55,5
3_DofB4_max	-35,9	-539,4	-696,3
4_DofB4_min	-2,8	-42,9	-55,5
4_DofB4_max	-35,9	-539,4	-696,3
5_DofB4_min	-2,8	-42,9	-55,5
5_DofB4_max	-35,9	-539,4	-696,3
6_DofB4_min	-7,2	-100,2	-127,7
6_DofB4_max	-35,9	-539,4	-696,3
7_DofB4_min	-7,2	-100,2	-127,7
7_DofB4_max	-20,4	-302,5	-389,5
8_DofB4_min	-7,2	-100,2	-127,7
8_DofB4_max	-20,4	-302,5	-389,5
9_DofB4_min	-7,2	-100,2	-127,7
9_DofB4_max	-20,7	-306,6	-394,8
10_DofB4_min	-7,8	-109,5	-139,6
10_DofB4_max	-36,1	-543,5	-701,6
11_DofB4_min	-7,8	-109,5	-139,6
11_DofB4_max	-36,1	-543,5	-701,6

A.7 Übersichtstabellen über die Umweltwirkungen je Neubaukonstruktion

Diesem Anhang sind die minimal und maximal auftretenden Umweltwirkungen je Neubaukonstruktion zu entnehmen. Die Umweltwirkungen sind separat nach den Phasen A1 bis A3, B4, C3, C4, D und D aus B4 („DofB4“) ausgegeben. Die Tabellen können als csv-Dateien abgespeichert und so in Softwarelösungen importiert werden, um auf deren Grundlage automatisierte Lebenszyklusanalysen für verschiedene Baumaßnahmen durchzuführen. Das GWP ist in $\text{kg CO}_2\text{-Äq./m}^2_{\text{Bauteil}}$, das PET und PENRT sind in $\text{MJ/ m}^2_{\text{Bauteil}}$ ausgewiesen.

Die Nennung der Bauteile erfolgt in alphabetischer Reihenfolge:

- BP_h_nb
- BP_uh_nb
- CFLmas_nb
- CFLwood_clt_nb
- CFLwood_tf_nb
- CW_mas_h_nb
- CW_mas_uh_nb
- CW_rc_h_nb
- CW_rc_uh_nb
- EWmas_mas_nb
- EWmas_rc_nb
- EWwood_clt_nb
- EWwood_tf_nb
- FLmas_nb
- FLwood_clt_nb
- FLwood_tf_nb
- FROmas_nb
- FROwood_clt_nb
- FROwood_tf_nb
- IWmas_mas_nb
- IWmas_rc_nb
- IWwood_clt_nb
- IWwood_tf_nb
- PRO_h_nb
- PRO_uh_nb
- SCW_mas_h_nb
- SCW_mas_uh_nb
- SCW_rc_h_nb
- SCW_rc_uh_nb
- SWmas_mas_nb
- SWmas_rc_nb
- SWwood_clt_nb
- SWwood_tf_nb
- TFLmas_nb
- TFLwood_clt_nb
- TFLwood_tf_nb
- Walu_nb
- Wplas_nb
- Wwood_nb

A.7 Übersichtstabellen über die Umweltwirkungen je Neubaukonstruktion

Tabelle A. 37: Bodenplatte, beheizt, Neubau – BP_h_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	100,8	1106,1	1288,8
nb_A1A3_max	214,2	2189,6	2865,3
nb_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
nb_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
nb_C3_min	22,9	27,0	33,0
nb_C3_max	45,2	46,5	58,6
nb_C4_min	1,9	27,2	30,8
nb_C4_max	2,7	39,4	44,6
nb_D_min	-14,3	-200,8	-261,7
nb_D_max	-26,7	-383,7	-501,1
nb_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
nb_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

Tabelle A. 38: Bodenplatte, unbeheizt, Neubau – BP_uh_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	78,5	560,1	698,3
nb_A1A3_max	194,5	1609,3	2248,4
nb_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
nb_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
nb_C3_min	2,3	19,6	24,8
nb_C3_max	21,0	42,8	54,2
nb_C4_min	3,0	26,4	29,9
nb_C4_max	2,7	39,4	44,6
nb_D_min	-6,3	-84,6	-110,5
nb_D_max	-16,5	-235,0	-310,0
nb_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
nb_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

Tabelle A. 39: Kellerdecke in Massivbauweise, Neubau – CFLmas_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	60,1	530,5	667,8
nb_A1A3_max	76,8	1339,4	2476,9
nb_B4_50a_min	10,4	89,3	111,4
nb_B4_50a_max	10,4	89,3	111,4
nb_C3_min	1,1	19,2	22,7
nb_C3_max	82,3	19,5	24,9
nb_C4_min	0,9	13,6	15,4
nb_C4_max	3,2	47,1	53,3
nb_D_min	-3,4	-44,2	-59,1
nb_D_max	-26,6	-438,4	-567,3
nb_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
nb_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

Tabelle A. 40: Kellerdecke in massiver Holzbauweise, Neubau – CFLwood_clt_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	-85,3	548,2	2244,4
nb_A1A3_max	-78,7	1804,9	4916,0
nb_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
nb_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
nb_C3_min	124,3	6,8	-1278,0
nb_C3_max	230,8	-3,1	-2034,7
nb_C4_min	0,5	8,0	9,1
nb_C4_max	4,4	64,8	73,3
nb_D_min	-55,3	-828,1	167,5
nb_D_max	-96,1	-1474,4	54,4
nb_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
nb_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

Tabelle A. 41: Kellerdecke in Holzrahmenbauweise, Neubau – CFLwood_tf_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	-42,9	493,6	1393,0
nb_A1A3_max	-66,7	1239,5	3425,9
nb_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
nb_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
nb_C3_min	73,5	-7,8	-552,6
nb_C3_max	170,1	-14,3	-946,0
nb_C4_min	0,5	7,2	8,1
nb_C4_max	3,1	44,9	50,8
nb_D_min	-28,1	-473,4	-82,6
nb_D_max	-58,9	-1025,5	-416,4
nb_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
nb_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

Tabelle A. 42: Kelleraußenwand in Mauerwerksbauweise, beheizt, Neubau – CW_mas_h_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	105,5	878,5	1053,2
nb_A1A3_max	134,5	1699,9	1900,1
nb_B4_50a_min	26,0	321,2	358,0
nb_B4_50a_max	79,6	1035,3	1117,8
nb_C3_min	11,3	21,8	24,4
nb_C3_max	41,3	38,3	42,4
nb_C4_min	0,8	11,8	13,3
nb_C4_max	1,4	19,9	22,5
nb_D_min	-5,1	-74,4	-95,7
nb_D_max	-17,1	-250,6	-322,2
nb_DofB4_min	-4,7	-69,4	-89,3
nb_DofB4_max	-17,1	-250,6	-322,2

Tabelle A. 43: Kelleraußenwand in Mauerwerksbauweise, unbeheizt, Neubau – CW_mas_uh_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	50,7	639,8	741,0
nb_A1A3_max	106,3	1219,2	1401,5
nb_B4_50a_min	26,0	321,2	358,0
nb_B4_50a_max	26,0	321,2	358,0
nb_C3_min	7,7	8,4	9,1
nb_C3_max	5,2	15,5	16,5
nb_C4_min	0,8	11,6	13,0
nb_C4_max	1,0	15,1	16,9
nb_D_min	-6,4	-94,0	-116,1
nb_D_max	-8,1	-119,1	-143,6
nb_DofB4_min	-4,7	-69,4	-89,3
nb_DofB4_max	-4,7	-69,4	-89,3

Tabelle A. 44: Kelleraußenwand in Stahlbetonbauweise, beheizt, Neubau – CW_rc_h_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	71,4	1071,5	1212,0
nb_A1A3_max	144,9	1734,2	2069,2
nb_B4_50a_min	55,6	757,7	804,0
nb_B4_50a_max	62,0	843,4	895,2
nb_C3_min	31,3	20,2	25,2
nb_C3_max	35,8	32,1	40,3
nb_C4_min	0,0	0,3	0,3
nb_C4_max	0,3	4,2	4,7
nb_D_min	-17,2	-244,6	-317,3
nb_D_max	-21,8	-306,8	-399,4
nb_DofB4_min	-12,9	-189,3	-243,5
nb_DofB4_max	-14,4	-211,1	-271,4

A.7 Übersichtstabellen über die Umweltwirkungen je Neubaukonstruktion

Tabelle A. 45: Kelleraußenwand in Stahlbetonbauweise, unbeheizt, Neubau – CW_rc_uh_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	50,2	447,0	548,2
nb_A1A3_max	120,9	1024,5	1314,9
nb_B4_50a_min	8,4	129,2	135,5
nb_B4_50a_max	8,4	129,2	135,5
nb_C3_min	5,3	16,3	20,5
nb_C3_max	6,2	27,7	34,9
nb_C4_min	0,0	0,3	0,3
nb_C4_max	0,3	4,2	4,7
nb_D_min	-6,3	-85,2	-112,4
nb_D_max	-9,4	-125,6	-166,5
nb_DofB4_min	-2,0	-29,9	-38,5
nb_DofB4_max	-2,0	-29,9	-38,5

Tabelle A. 46: Außenwand in Mauerwerksbauweise, Neubau – EWmas_mas_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	53,7	508,2	611,1
nb_A1A3_max	0,4	1047,0	2459,7
nb_B4_50a_min	19,1	194,3	232,8
nb_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
nb_C3_min	-2,3	12,3	12,9
nb_C3_max	114,3	24,0	-237,1
nb_C4_min	0,9	12,4	13,9
nb_C4_max	29,9	436,8	494,1
nb_D_min	-1,7	-24,5	-26,8
nb_D_max	-35,2	-562,8	-474,9
nb_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
nb_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7

Tabelle A. 47: Außenwand in Stahlbetonbauweise, Neubau – EWmas_rc_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	59,8	500,7	622,4
nb_A1A3_max	37,0	1361,8	2937,9
nb_B4_50a_min	26,3	281,9	334,0
nb_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
nb_C3_min	1,2	21,9	25,4
nb_C3_max	115,0	26,0	-230,9
nb_C4_min	0,7	10,0	11,3
nb_C4_max	29,6	431,6	488,3
nb_D_min	-3,2	-41,4	-55,4
nb_D_max	-41,5	-644,9	-584,5
nb_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
nb_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7

Tabelle A. 48: Außenwand in massiver Holzbauweise, Neubau – EWwood_clt_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	-31,9	466,9	1480,6
nb_A1A3_max	-183,5	1119,5	4686,9
nb_B4_50a_min	24,8	264,3	313,7
nb_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
nb_C3_min	71,6	7,8	-735,7
nb_C3_max	269,4	-1,9	-2176,8
nb_C4_min	0,8	11,9	13,5
nb_C4_max	29,9	435,9	493,1
nb_D_min	-31,6	-479,2	98,2
nb_D_max	-109,0	-1672,5	-64,8
nb_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
nb_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7

Tabelle A. 49: Außenwand in Holzrahmenbauweise, Neubau – EWwood_tf_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	-73,0	228,8	1520,8
nb_A1A3_max	-68,7	1005,6	2818,4
nb_B4_50a_min	3,9	47,3	281,5
nb_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
nb_C3_min	94,5	4,2	-689,8
nb_C3_max	144,3	-1,9	-523,9
nb_C4_min	0,3	4,9	5,6
nb_C4_max	30,0	437,6	495,0
nb_D_min	-40,2	-540,7	-35,5
nb_D_max	-47,1	-773,1	-496,0
nb_DofB4_min	-14,6	-193,7	53,9
nb_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7

Tabelle A. 50: Geschossdecke in Massivbauweise, Neubau – FLmas_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	41,0	355,0	451,2
nb_A1A3_max	105,5	947,0	1375,7
nb_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
nb_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
nb_C3_min	1,0	12,5	15,7
nb_C3_max	18,7	18,8	23,8
nb_C4_min	1,5	4,6	5,2
nb_C4_max	3,0	43,4	49,1
nb_D_min	-4,0	-54,0	-69,8
nb_D_max	-9,7	-146,2	-191,5
nb_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
nb_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

Tabelle A. 51: Geschossdecke in Holzmassivbauweise, Neubau – FLwood_clt_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	-84,3	414,3	1923,7
nb_A1A3_max	-89,9	1656,1	4762,6
nb_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
nb_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
nb_C3_min	111,9	-0,4	-1157,4
nb_C3_max	230,8	-3,1	-2034,7
nb_C4_min	1,5	4,6	5,2
nb_C4_max	4,2	60,8	68,8
nb_D_min	-50,2	-761,3	134,2
nb_D_max	-96,1	-1474,4	54,4
nb_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
nb_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

Tabelle A. 52: Geschossdecke in Holzrahmenbauweise, Neubau – FLwood_tf_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	-38,7	174,9	820,5
nb_A1A3_max	-60,8	1181,2	3250,8
nb_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
nb_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
nb_C3_min	49,0	5,3	-497,9
nb_C3_max	159,4	-14,4	-946,2
nb_C4_min	1,5	4,6	5,2
nb_C4_max	3,1	44,9	50,8
nb_D_min	-23,6	-317,0	69,4
nb_D_max	-56,1	-976,3	-353,1
nb_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
nb_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

A.7 Übersichtstabellen über die Umweltwirkungen je Neubaukonstruktion

Tabelle A. 53: Flachdach in Massivbauweise, Neubau – FROmas_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	61,8	1065,4	1169,5
nb_A1A3_max	121,6	2222,7	2534,1
nb_B4_50a_min	25,0	481,3	527,3
nb_B4_50a_max	31,9	996,9	1074,1
nb_C3_min	5,9	22,9	29,2
nb_C3_max	38,8	26,6	33,0
nb_C4_min	19,3	8,7	9,4
nb_C4_max	1,6	24,1	26,0
nb_D_min	-14,3	-210,7	-244,2
nb_D_max	-21,5	-306,0	-396,9
nb_DofB4_min	-2,0	-29,3	-37,6
nb_DofB4_max	-5,5	-81,0	-104,2

Tabelle A. 54: Flachdach in Holzmassivbauweise, Neubau – FROwood_clt_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	-53,8	994,4	2296,3
nb_A1A3_max	-110,5	2050,9	4752,4
nb_B4_50a_min	25,0	481,3	527,3
nb_B4_50a_max	31,9	996,9	1074,1
nb_C3_min	100,1	8,5	-980,4
nb_C3_max	220,6	3,0	-1979,5
nb_C4_min	16,7	8,3	9,0
nb_C4_max	1,7	25,6	27,8
nb_D_min	-51,7	-784,7	-31,6
nb_D_max	-97,6	-1474,9	8,5
nb_DofB4_min	-2,0	-29,3	-37,6
nb_DofB4_max	-5,5	-81,0	-104,2

Tabelle A. 55: Flachdach in Holzrahmenbauweise, Neubau – FROwood_tf_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	-41,5	452,8	1267,8
nb_A1A3_max	-120,4	2023,4	4899,4
nb_B4_50a_min	22,6	289,5	330,7
nb_B4_50a_max	30,2	816,0	889,5
nb_C3_min	75,0	2,9	-435,9
nb_C3_max	232,4	-15,2	-1418,1
nb_C4_min	0,2	2,7	3,0
nb_C4_max	1,3	19,4	21,1
nb_D_min	-27,2	-440,6	-140,6
nb_D_max	-85,4	-1450,2	-508,5
nb_DofB4_min	-2,0	-29,3	-37,6
nb_DofB4_max	-5,7	-83,1	-106,9

Tabelle A. 56: Innenwand in Mauerwerksbauweise, Neubau – IWmas_mas_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	20,0	184,2	220,5
nb_A1A3_max	67,9	493,8	581,1
nb_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
nb_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
nb_C3_min	-1,2	3,2	3,4
nb_C3_max	1,1	21,2	23,0
nb_C4_min	0,3	4,6	5,2
nb_C4_max	0,9	13,0	14,7
nb_D_min	-0,8	-11,8	-12,8
nb_D_max	0,0	0,0	0,0
nb_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
nb_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

Tabelle A. 57: Innenwand in Stahlbetonbauweise, Neubau – IWmas_rc_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	34,5	239,0	310,4
nb_A1A3_max	88,4	685,6	896,6
nb_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
nb_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
nb_C3_min	0,9	11,7	14,8
nb_C3_max	1,5	19,3	24,4
nb_C4_min	0,0	0,0	0,0
nb_C4_max	0,5	7,9	8,9
nb_D_min	-3,2	-41,4	-55,4
nb_D_max	-5,2	-68,4	-91,4
nb_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
nb_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

Tabelle A. 58: Innenwand in Holzmassivbauweise, Neubau – IWwood_clt_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	-57,4	188,1	1144,2
nb_A1A3_max	-158,3	1060,5	4263,0
nb_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
nb_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
nb_C3_min	71,4	-1,5	-745,4
nb_C3_max	235,8	-2,9	-2082,6
nb_C4_min	0,0	0,0	0,0
nb_C4_max	1,1	15,8	17,8
nb_D_min	-31,6	-479,2	98,2
nb_D_max	-98,1	-1502,2	64,1
nb_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
nb_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

Tabelle A. 59: Innenwand in Holzrahmenbauweise, Neubau – IWwood_tf_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	-10,4	87,2	284,7
nb_A1A3_max	-70,4	1137,3	3040,2
nb_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
nb_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
nb_C3_min	16,7	0,6	-80,8
nb_C3_max	145,2	-12,8	-858,6
nb_C4_min	0,3	4,4	5,0
nb_C4_max	1,1	15,8	17,8
nb_D_min	-6,4	-86,8	-34,9
nb_D_max	-50,9	-876,0	-312,5
nb_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
nb_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

Tabelle A. 60: Steildach, beheizt, Neubau – PRO_h_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	-58,9	357,9	1423,2
nb_A1A3_max	-83,6	1267,5	3443,5
nb_B4_50a_min	1,0	14,7	15,9
nb_B4_50a_max	1,0	14,7	15,9
nb_C3_min	90,0	6,0	-657,5
nb_C3_max	174,6	4,8	-847,7
nb_C4_min	0,2	2,4	2,7
nb_C4_max	0,4	5,5	6,2
nb_D_min	-40,5	-543,4	-70,1
nb_D_max	-61,0	-984,1	-448,1
nb_DofB4_min	-0,2	-2,8	-3,6
nb_DofB4_max	-0,2	-2,8	-3,6

A.7 Übersichtstabellen über die Umweltwirkungen je Neubaukonstruktion

Tabelle A. 61: Steildach, unbeheizt, Neubau – PRO_uh_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	-41,8	277,3	1094,8
nb_A1A3_max	-33,4	764,9	1933,8
nb_B4_50a_min	1,0	14,7	15,9
nb_B4_50a_max	1,0	14,7	15,9
nb_C3_min	63,3	4,8	-627,6
nb_C3_max	82,3	3,8	-849,3
nb_C4_min	0,0	0,0	0,0
nb_C4_max	0,4	5,5	6,2
nb_D_min	-31,7	-423,0	55,2
nb_D_max	-36,5	-559,9	97,5
nb_DofB4_min	-0,2	-2,8	-3,6
nb_DofB4_max	-0,2	-2,8	-3,6

Tabelle A. 62: Gebäudetrennwand unter GOK in Mauerwerksbauweise, beheizt, Neubau – SCW_mas_h_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	35,6	291,8	341,9
nb_A1A3_max	75,5	799,1	901,6
nb_B4_50a_min	7,6	91,9	106,2
nb_B4_50a_max	25,7	342,8	364,7
nb_C3_min	0,7	15,4	16,6
nb_C3_max	15,3	23,3	25,6
nb_C4_min	0,1	1,5	1,7
nb_C4_max	0,6	9,1	10,3
nb_D_min	0,0	0,0	0,0
nb_D_max	-5,9	-86,9	-111,8
nb_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
nb_DofB4_max	-5,9	-86,9	-111,8

Tabelle A. 63: Gebäudetrennwand unter GOK in Mauerwerksbauweise, unbeheizt, Neubau – SCW_mas_uh_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	28,2	205,8	242,0
nb_A1A3_max	113,8	673,1	826,3
nb_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
nb_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
nb_C3_min	0,5	10,6	11,5
nb_C3_max	1,4	24,0	26,6
nb_C4_min	0,0	0,4	0,4
nb_C4_max	1,0	14,2	16,1
nb_D_min	0,0	0,0	0,0
nb_D_max	-0,4	-5,9	-7,6
nb_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
nb_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

Tabelle A. 64: Gebäudetrennwand unter GOK in Stahlbetonbauweise, beheizt, Neubau – SCW_rc_h_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	42,2	329,1	415,0
nb_A1A3_max	112,1	1113,8	1379,9
nb_B4_50a_min	8,0	96,3	111,3
nb_B4_50a_max	25,7	342,8	364,7
nb_C3_min	1,0	16,8	20,1
nb_C3_max	16,0	25,3	31,8
nb_C4_min	0,1	1,1	1,3
nb_C4_max	0,3	3,9	4,5
nb_D_min	-3,2	-41,4	-55,4
nb_D_max	-12,2	-169,0	-221,5
nb_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
nb_DofB4_max	-5,9	-86,9	-111,8

Tabelle A. 65: Gebäudetrennwand unter GOK in Stahlbetonbauweise, unbeheizt, Neubau – SCW_rc_uh_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	34,5	239,0	310,4
nb_A1A3_max	96,6	737,8	976,3
nb_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
nb_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
nb_C3_min	0,9	11,7	14,8
nb_C3_max	1,8	23,1	29,2
nb_C4_min	0,0	0,0	0,0
nb_C4_max	0,0	0,0	0,0
nb_D_min	-3,2	-41,4	-55,4
nb_D_max	-6,3	-82,0	-109,7
nb_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
nb_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

Tabelle A. 66: Gebäudetrennwand über GOK in Mauerwerksbauweise, Neubau – SWmas_mas_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	23,8	157,5	194,5
nb_A1A3_max	115,2	689,5	845,3
nb_B4_50a_min	0,7	8,8	10,1
nb_B4_50a_max	1,4	17,5	20,2
nb_C3_min	0,3	5,3	5,8
nb_C3_max	1,5	25,0	27,6
nb_C4_min	0,2	2,5	2,8
nb_C4_max	1,0	14,4	16,3
nb_D_min	-0,1	-1,2	-1,5
nb_D_max	-0,4	-5,9	-7,6
nb_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
nb_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

Tabelle A. 67: Gebäudetrennwand über GOK in Stahlbetonbauweise, Neubau – SWmas_rc_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	35,2	247,2	319,9
nb_A1A3_max	102,0	789,6	1036,8
nb_B4_50a_min	0,7	8,8	10,1
nb_B4_50a_max	1,4	17,5	20,2
nb_C3_min	0,9	12,1	15,2
nb_C3_max	1,8	24,1	30,2
nb_C4_min	0,0	0,1	0,1
nb_C4_max	0,3	4,1	4,7
nb_D_min	-3,2	-41,4	-55,4
nb_D_max	-6,3	-82,0	-109,7
nb_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
nb_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

Tabelle A. 68: Gebäudetrennwand über GOK in Holzmassivbauweise, Neubau – SWwood_clt_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	-49,0	171,2	1001,2
nb_A1A3_max	-157,8	743,6	3601,1
nb_B4_50a_min	0,7	8,8	10,1
nb_B4_50a_max	1,4	17,5	20,2
nb_C3_min	61,9	-0,8	-645,5
nb_C3_max	213,0	-2,6	-2034,2
nb_C4_min	0,0	0,1	0,1
nb_C4_max	0,4	5,7	6,4
nb_D_min	-27,4	-415,3	85,1
nb_D_max	-91,2	-1390,1	162,9
nb_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
nb_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

A.7 Übersichtstabellen über die Umweltwirkungen je Neubaukonstruktion

Tabelle A. 69: Gebäudetrennwand über GOK in Holzrahmenbauweise, Neubau – SWwood_tf_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	-8,1	128,9	337,6
nb_A1A3_max	-69,7	857,8	2473,1
nb_B4_50a_min	0,7	8,8	10,1
nb_B4_50a_max	0,7	8,8	10,1
nb_C3_min	16,7	1,1	-80,3
nb_C3_max	128,7	-7,5	-658,7
nb_C4_min	0,5	6,7	7,5
nb_C4_max	0,6	8,3	9,4
nb_D_min	-6,4	-86,8	-34,9
nb_D_max	-44,0	-745,7	-333,5
nb_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
nb_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

Tabelle A. 70: Oberste Geschossdecke in Massivbauweise, Neubau – TFLmas_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	70,3	683,9	829,7
nb_A1A3_max	43,7	1203,8	2361,5
nb_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
nb_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
nb_C3_min	1,5	33,7	37,9
nb_C3_max	85,1	19,4	24,8
nb_C4_min	0,3	4,7	5,3
nb_C4_max	0,6	9,4	10,7
nb_D_min	-3,4	-44,2	-59,1
nb_D_max	-27,2	-450,1	-582,2
nb_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
nb_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

Tabelle A. 71: Oberste Geschossdecke in Holzmassivbauweise, Neubau – TFLwood_clt_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	-60,9	662,4	2208,9
nb_A1A3_max	-174,5	1099,2	4477,7
nb_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
nb_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
nb_C3_min	111,9	15,6	-1140,8
nb_C3_max	257,0	-2,9	-2034,3
nb_C4_min	0,3	4,0	4,5
nb_C4_max	0,8	11,0	12,4
nb_D_min	-49,3	-748,3	149,1
nb_D_max	-102,9	-1593,7	-99,0
nb_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
nb_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

Tabelle A. 72: Oberste Geschossdecke in Holzrahmenbauweise, Neubau – TFLwood_tf_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	-33,2	714,3	1678,9
nb_A1A3_max	-98,5	1159,0	3449,2
nb_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
nb_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
nb_C3_min	72,8	-9,5	-545,7
nb_C3_max	179,5	-12,6	-934,9
nb_C4_min	1,7	24,3	27,5
nb_C4_max	0,8	11,0	12,4
nb_D_min	-27,6	-467,4	-83,0
nb_D_max	-61,5	-1059,0	-469,8
nb_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
nb_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

Tabelle A. 73: Alurahmen-Fenster, Neubau – Walu_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	86,3	1132,7	1328,1
nb_A1A3_max	188,7	2635,8	3300,6
nb_B4_50a_min	64,6	782,5	885,2
nb_B4_50a_max	34,0	421,4	492,0
nb_C3_min	4,2	1,9	2,4
nb_C3_max	7,8	3,9	4,4
nb_C4_min	0,4	6,5	7,3
nb_C4_max	0,2	2,9	3,2
nb_D_min	-21,8	-290,4	-380,8
nb_D_max	-100,8	-1342,5	-1778,6
nb_DofB4_min	-5,9	-79,1	-100,2
nb_DofB4_max	-5,2	-68,8	-86,9

Tabelle A. 74: Kunststoffrahmen-Fenster, Neubau – Wplas_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	74,0	996,9	1119,4
nb_A1A3_max	115,1	1821,0	2048,4
nb_B4_50a_min	85,6	1033,6	1167,7
nb_B4_50a_max	159,9	1927,7	2187,1
nb_C3_min	10,1	16,3	20,8
nb_C3_max	43,6	89,8	115,3
nb_C4_min	0,4	6,5	7,3
nb_C4_max	0,2	2,9	3,2
nb_D_min	-11,1	-129,2	-153,0
nb_D_max	-37,1	-375,2	-411,8
nb_DofB4_min	-11,2	-130,4	-154,6
nb_DofB4_max	-37,1	-376,4	-413,3

Tabelle A. 75: Holzrahmen-Fenster, Neubau – Wwood_nb: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
nb_A1A3_min	59,6	848,8	1090,6
nb_A1A3_max	29,3	1513,8	3354,8
nb_B4_50a_min	70,7	870,7	1119,8
nb_B4_50a_max	105,6	1476,7	3312,3
nb_C3_min	9,6	1,5	1,9
nb_C3_max	78,9	1,3	1,9
nb_C4_min	0,4	6,5	7,3
nb_C4_max	0,2	2,9	3,2
nb_D_min	-8,4	-117,6	-149,9
nb_D_max	-38,2	-570,9	-737,4
nb_DofB4_min	-8,5	-118,8	-151,5
nb_DofB4_max	-36,1	-543,5	-701,6

A.8 Übersichtstabellen über die baualtersspezifischen Umweltwirkungen je Sanierungskonstruktion

Die folgenden Tabellen enthalten je Sanierungsbauteil die baualtersklassenabhängigen minimalen und maximalen Umweltwirkungen. Die Umweltwirkungen sind separat nach den Phasen A1 bis A3, B4, C3, C4, D und D aus B4 („DofB4“) ausgegeben. Die Tabellen können als csv-Dateien abgespeichert und so in Softwarelösungen importiert werden, um auf deren Grundlage automatisierte Lebenszyklusanalysen für verschiedene Baumaßnahmen durchzuführen. Das GWP ist in $\text{kg CO}_2\text{-Äq./m}^2_{\text{Bauteil}}$, das PET und PENRT sind in $\text{MJ/ m}^2_{\text{Bauteil}}$ ausgewiesen. Sind in einer Baualtersklasse keine Werte vorhanden, ist dies mit „n.v.“ (nicht vorhanden) vermerkt.

Die Nennung der Bauteile erfolgt in alphabetischer Reihenfolge:

- BP_h_ren
- CFL_uh_ren
- CW_h_ren
- EW2shelled_ren
- EWcwf_ren
- EWmas_ren
- EWwood_ren
- FROmas_ren
- FROwood_ren
- PRO_h_ren
- SCW_h_ren
- TFL_uh_ren

Tabelle A. 76: Bodenplatte, beheizt, Sanierung – BP_h_ren: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	42,7	421,3	496,8
1_A1A3_max	129,1	1321,0	1734,9
2_A1A3_min	42,7	421,3	496,8
2_A1A3_max	138,3	1471,6	1889,4
3_A1A3_min	42,7	421,3	496,8
3_A1A3_max	138,3	1471,6	1889,4
4_A1A3_min	42,7	421,3	496,8
4_A1A3_max	138,3	1471,6	1889,4
5_A1A3_min	42,7	421,3	496,8
5_A1A3_max	138,3	1471,6	1889,4
6_A1A3_min	44,2	534,3	617,7
6_A1A3_max	129,1	1321,0	1734,9
7_A1A3_min	44,2	534,3	617,7
7_A1A3_max	129,1	1321,0	1734,9
8_A1A3_min	44,2	534,3	617,7
8_A1A3_max	129,1	1321,0	1734,9
9_A1A3_min	35,7	326,1	386,9
9_A1A3_max	5,4	519,0	1134,7
10_A1A3_min	33,0	291,8	347,0
10_A1A3_max	5,4	519,0	1134,7
11_A1A3_min	31,7	274,6	327,1
11_A1A3_max	5,4	519,0	1134,7
1_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
1_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_min	2,2	129,1	138,2
6_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_min	2,2	129,1	138,2
7_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
8_B4_50a_min	2,2	129,1	138,2
8_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
9_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
9_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
10_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
10_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
11_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
11_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
1_C3_min	3,8	54,6	60,9
1_C3_max	29,4	80,2	94,0
2_C3_min	2,1	25,5	29,4
2_C3_max	29,0	71,8	85,4
3_C3_min	3,8	54,6	60,9
3_C3_max	32,1	70,7	84,1
4_C3_min	3,8	54,6	60,9
4_C3_max	38,4	70,9	84,3
5_C3_min	3,8	54,6	60,9
5_C3_max	41,5	70,2	83,5
6_C3_min	3,4	54,5	60,8
6_C3_max	28,6	67,1	79,4
7_C3_min	3,4	54,5	60,8
7_C3_max	33,8	67,6	80,0
8_C3_min	3,4	54,5	60,8
8_C3_max	33,8	67,6	80,0
9_C3_min	17,4	52,2	64,0
9_C3_max	54,9	20,3	25,9
10_C3_min	19,7	50,8	62,7
10_C3_max	54,9	20,3	25,9
11_C3_min	21,5	50,3	62,1
11_C3_max	54,9	20,3	25,9
1_C4_min	3,3	47,5	53,7
1_C4_max	3,3	48,0	54,3
2_C4_min	4,2	60,7	68,6
2_C4_max	4,9	71,0	80,3
3_C4_min	3,3	47,5	53,7
3_C4_max	4,5	65,7	74,3
4_C4_min	3,3	47,5	53,7
4_C4_max	4,1	60,5	68,4
5_C4_min	3,3	47,5	53,7
5_C4_max	4,1	60,5	68,4
6_C4_min	3,7	54,2	60,9
6_C4_max	4,0	57,8	65,4
7_C4_min	3,7	54,2	60,9
7_C4_max	4,0	57,8	65,4
8_C4_min	3,7	54,2	60,9
8_C4_max	4,0	57,8	65,4
9_C4_min	4,6	67,6	76,5
9_C4_max	5,7	65,9	74,5
10_C4_min	4,6	67,2	76,0
10_C4_max	5,7	65,9	74,5
11_C4_min	4,6	67,0	75,8
11_C4_max	5,7	65,9	74,5
1_D_min	-3,1	-41,1	-54,3

A.8 Übersichtstabellen über die baualterspezifischen Umweltwirkungen je Sanierungskonstruktion

1_D_max	-17,9	-254,7	-333,2
2_D_min	-3,8	-50,2	-66,9
2_D_max	-19,0	-268,5	-351,8
3_D_min	-3,1	-41,1	-54,3
3_D_max	-19,8	-276,6	-362,0
4_D_min	-3,1	-41,1	-54,3
4_D_max	-22,1	-300,9	-393,3
5_D_min	-3,1	-41,1	-54,3
5_D_max	-18,4	-261,8	-342,8
6_D_min	-2,9	-38,3	-50,7
6_D_max	-17,7	-251,8	-329,4
7_D_min	-2,9	-38,3	-50,7
7_D_max	-20,1	-288,0	-375,9
8_D_min	-2,9	-38,3	-50,7
8_D_max	-20,1	-288,0	-375,9
9_D_min	-16,5	-228,0	-301,0
9_D_max	-20,5	-328,6	-424,3
10_D_min	-17,5	-242,5	-319,6
10_D_max	-20,5	-328,6	-424,3
11_D_min	-18,2	-253,4	-333,6
11_D_max	-20,5	-328,6	-424,3
1_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
1_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

Tabelle A. 77: Kellerdecke zu unbeheiztem Keller, Sanierung – CFL_uh_ren: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	-2,9	75,5	236,4
1_A1A3_max	7,9	734,2	1525,9
2_A1A3_min	-3,6	85,6	267,7
2_A1A3_max	6,3	750,2	1574,1
3_A1A3_min	-3,6	85,6	267,7
3_A1A3_max	6,3	750,2	1574,1
4_A1A3_min	-3,6	85,6	267,7
4_A1A3_max	-27,3	380,1	1071,1
5_A1A3_min	-2,9	75,5	236,4
5_A1A3_max	-27,3	380,1	1071,1
6_A1A3_min	-2,9	75,5	236,4
6_A1A3_max	-27,3	380,1	1071,1
7_A1A3_min	-2,9	75,5	236,4
7_A1A3_max	-27,3	380,1	1071,1
8_A1A3_min	-1,5	55,3	174,0
8_A1A3_max	-27,3	380,1	1071,1
9_A1A3_min	-2,6	70,4	220,8
9_A1A3_max	-43,3	990,8	2702,0
10_A1A3_min	-2,6	70,4	220,8
10_A1A3_max	-43,3	990,8	2702,0
11_A1A3_min	-2,6	70,4	220,8
11_A1A3_max	86,0	1205,8	2105,1
1_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
1_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
8_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
8_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
9_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
9_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
10_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
10_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0

11_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
11_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
1_C3_min	34,6	11,2	-355,3
1_C3_max	113,1	20,9	-699,3
2_C3_min	33,2	13,8	-337,8
2_C3_max	118,9	2,9	-761,7
3_C3_min	33,2	13,8	-337,8
3_C3_max	118,9	2,9	-761,7
4_C3_min	12,6	18,2	-98,2
4_C3_max	76,8	29,2	-196,1
5_C3_min	10,9	15,8	-85,3
5_C3_max	76,8	29,2	-196,1
6_C3_min	10,9	15,8	-85,3
6_C3_max	65,9	15,9	-100,1
7_C3_min	10,9	15,8	-85,3
7_C3_max	65,9	15,9	-100,1
8_C3_min	13,2	18,6	-50,0
8_C3_max	65,9	15,9	-100,1
9_C3_min	10,3	18,6	-74,0
9_C3_max	171,4	-21,0	-1139,0
10_C3_min	10,3	19,0	-73,6
10_C3_max	171,4	-21,0	-1139,0
11_C3_min	10,3	19,4	-73,2
11_C3_max	71,6	19,8	-55,0
1_C4_min	0,9	13,8	15,6
1_C4_max	3,1	44,9	50,8
2_C4_min	1,1	16,1	18,2
2_C4_max	3,1	44,9	50,8
3_C4_min	1,1	16,1	18,2
3_C4_max	3,1	44,9	50,8
4_C4_min	2,0	29,3	33,1
4_C4_max	1,9	28,3	32,0
5_C4_min	1,1	16,3	18,4
5_C4_max	1,9	28,3	32,0
6_C4_min	1,1	16,3	18,4
6_C4_max	1,8	26,8	30,4
7_C4_min	1,1	16,3	18,4
7_C4_max	1,8	26,8	30,4
8_C4_min	2,8	24,9	28,2
8_C4_max	1,8	26,8	30,4
9_C4_min	1,1	15,5	17,5
9_C4_max	5,8	84,3	95,4
10_C4_min	1,1	15,6	17,6
10_C4_max	5,8	84,3	95,4
11_C4_min	1,1	15,7	17,7
11_C4_max	3,6	52,6	59,5
1_D_min	-17,0	-227,1	56,1
1_D_max	-31,3	-469,7	85,0
2_D_min	-16,5	-221,1	50,4
2_D_max	-32,8	-489,9	99,0
3_D_min	-16,5	-221,1	50,4
3_D_max	-32,8	-489,9	99,0
4_D_min	-9,1	-120,6	-44,0
4_D_max	-25,6	-381,7	-274,9
5_D_min	-7,6	-100,1	-32,3
5_D_max	-25,6	-381,7	-274,9
6_D_min	-7,6	-100,1	-32,3
6_D_max	-24,2	-361,6	-354,2
7_D_min	-7,6	-100,1	-32,3
7_D_max	-24,2	-361,6	-354,2
8_D_min	-9,3	-125,0	-93,2
8_D_max	-24,2	-361,6	-354,2
9_D_min	-7,7	-101,7	-42,2
9_D_max	-50,2	-898,3	-70,3
10_D_min	-7,7	-101,7	-42,2
10_D_max	-50,2	-898,3	-70,3
11_D_min	-7,7	-101,7	-42,2
11_D_max	-25,3	-402,4	-445,2
1_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
1_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

A.8 Übersichtstabellen über die baualterspezifischen Umweltwirkungen je Sanierungskonstruktion

Tabelle A. 78: Kelleraußenwand im beheizten Keller, Sanierung – CW_h_ren: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	18,8	580,5	613,4
1_A1A3_max	23,0	1183,1	1225,8
2_A1A3_min	20,7	637,3	673,7
2_A1A3_max	23,0	1183,1	1225,8
3_A1A3_min	20,7	637,3	673,7
3_A1A3_max	24,9	1239,9	1286,2
4_A1A3_min	17,8	552,1	583,2
4_A1A3_max	24,9	1239,9	1286,2
5_A1A3_min	17,8	552,1	583,2
5_A1A3_max	24,9	1239,9	1286,2
6_A1A3_min	17,8	552,1	583,2
6_A1A3_max	23,0	1183,1	1225,8
7_A1A3_min	17,8	552,1	583,2
7_A1A3_max	24,9	1239,9	1286,2
8_A1A3_min	18,8	580,5	613,4
8_A1A3_max	24,9	1239,9	1286,2
9_A1A3_min	18,5	544,1	576,4
9_A1A3_max	33,0	1311,4	1381,7
10_A1A3_min	18,5	544,1	576,4
10_A1A3_max	33,0	1311,4	1381,7
11_A1A3_min	18,5	544,1	576,4
11_A1A3_max	33,0	1311,4	1381,7
1_B4_50a_min	49,6	635,4	692,3
1_B4_50a_max	49,4	1261,9	1330,2
2_B4_50a_min	46,2	641,5	678,8
2_B4_50a_max	49,4	1261,9	1330,2
3_B4_50a_min	46,2	641,5	678,8
3_B4_50a_max	53,7	1319,1	1391,0
4_B4_50a_min	47,4	606,8	661,9
4_B4_50a_max	53,7	1319,1	1391,0
5_B4_50a_min	47,4	606,8	661,9
5_B4_50a_max	53,7	1319,1	1391,0
6_B4_50a_min	47,4	606,8	661,9
6_B4_50a_max	49,4	1261,9	1330,2
7_B4_50a_min	47,4	606,8	661,9
7_B4_50a_max	66,6	1490,4	1573,3
8_B4_50a_min	49,6	635,4	692,3
8_B4_50a_max	66,6	1490,4	1573,3
9_B4_50a_min	40,6	557,7	591,3
9_B4_50a_max	55,8	1347,6	1421,4
10_B4_50a_min	40,6	557,7	591,3
10_B4_50a_max	55,8	1347,6	1421,4
11_B4_50a_min	40,6	557,7	591,3
11_B4_50a_max	55,8	1347,6	1421,4
1_C3_min	19,3	14,4	15,8
1_C3_max	12,3	16,2	17,5
2_C3_min	24,6	6,5	7,5
2_C3_max	13,3	13,5	14,6
3_C3_min	26,5	17,1	21,5
3_C3_max	20,8	19,9	25,0
4_C3_min	22,8	18,7	21,1
4_C3_max	20,8	19,9	25,0
5_C3_min	22,8	18,7	21,1
5_C3_max	20,8	19,9	25,0
6_C3_min	22,8	18,7	21,1
6_C3_max	18,1	17,9	20,1
7_C3_min	22,8	18,7	21,1
7_C3_max	28,4	26,9	33,8
8_C3_min	26,6	58,2	67,1
8_C3_max	28,4	26,9	33,8
9_C3_min	27,2	19,6	24,5
9_C3_max	39,6	38,0	42,1
10_C3_min	27,2	19,6	24,5
10_C3_max	41,9	38,4	42,6
11_C3_min	27,2	19,6	24,5
11_C3_max	43,7	38,7	42,9
1_C4_min	4,6	67,3	76,1
1_C4_max	7,2	106,6	118,9
2_C4_min	1,1	16,5	18,6
2_C4_max	6,2	92,2	102,7
3_C4_min	0,0	0,3	0,3
3_C4_max	2,3	36,0	39,2
4_C4_min	3,4	50,1	56,7
4_C4_max	2,3	36,0	39,2
5_C4_min	3,4	50,1	56,7
5_C4_max	2,3	36,0	39,2
6_C4_min	3,4	50,1	56,7
6_C4_max	5,0	75,0	83,4
7_C4_min	3,4	50,1	56,7
7_C4_max	2,3	36,0	39,2
8_C4_min	0,8	11,1	12,6
8_C4_max	2,3	36,0	39,2
9_C4_min	0,0	0,3	0,3
9_C4_max	3,5	53,0	58,4
10_C4_min	0,0	0,3	0,3
10_C4_max	3,5	53,0	58,4
11_C4_min	0,0	0,3	0,3
11_C4_max	3,5	53,0	58,4
1_D_min	-12,9	-188,4	-234,7

1_D_max	-10,9	-158,9	-194,8
2_D_min	-11,8	-172,9	-220,5
2_D_max	-10,2	-148,9	-183,9
3_D_min	-14,8	-210,4	-273,0
3_D_max	-13,1	-184,0	-239,7
4_D_min	-10,0	-145,6	-187,3
4_D_max	-13,1	-184,0	-239,7
5_D_min	-10,0	-145,6	-187,3
5_D_max	-13,1	-184,0	-239,7
6_D_min	-10,0	-145,6	-187,3
6_D_max	-7,8	-113,4	-145,8
7_D_min	-10,0	-145,6	-187,3
7_D_max	-17,7	-248,8	-324,1
8_D_min	-14,9	-210,9	-273,8
8_D_max	-17,7	-248,8	-324,1
9_D_min	-15,8	-223,8	-290,6
9_D_max	-16,7	-244,3	-314,1
10_D_min	-15,8	-223,8	-290,6
10_D_max	-17,7	-258,8	-332,8
11_D_min	-15,8	-223,8	-290,6
11_D_max	-18,4	-269,7	-346,7
1_DofB4_min	-10,2	-149,1	-191,8
1_DofB4_max	-7,5	-109,6	-141,0
2_DofB4_min	-11,2	-163,6	-210,4
2_DofB4_max	-7,5	-109,6	-141,0
3_DofB4_min	-11,2	-163,6	-210,4
3_DofB4_max	-8,5	-124,1	-159,6
4_DofB4_min	-9,7	-141,9	-182,5
4_DofB4_max	-8,5	-124,1	-159,6
5_DofB4_min	-9,7	-141,9	-182,5
5_DofB4_max	-8,5	-124,1	-159,6
6_DofB4_min	-9,7	-141,9	-182,5
6_DofB4_max	-7,5	-109,6	-141,0
7_DofB4_min	-9,7	-141,9	-182,5
7_DofB4_max	-11,5	-167,6	-215,5
8_DofB4_min	-10,2	-149,1	-191,8
8_DofB4_max	-11,5	-167,6	-215,5
9_DofB4_min	-9,5	-138,6	-178,3
9_DofB4_max	-9,0	-131,4	-168,9
10_DofB4_min	-9,5	-138,6	-178,3
10_DofB4_max	-9,0	-131,4	-168,9
11_DofB4_min	-9,5	-138,6	-178,3
11_DofB4_max	-9,0	-131,4	-168,9

Tabelle A. 79: 2-schalige Außenwand, Sanierung – EW2shelled_ren: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	15,4	192,7	272,1
1_A1A3_max	-51,0	460,7	1538,7
2_A1A3_min	15,4	192,7	272,1
2_A1A3_max	-51,0	460,7	1538,7
3_A1A3_min	15,4	192,7	272,1
3_A1A3_max	-51,0	460,7	1538,7
4_A1A3_min	15,4	192,7	272,1
4_A1A3_max	-45,9	427,0	1415,1
5_A1A3_min	13,8	167,4	237,0
5_A1A3_max	-51,0	460,7	1538,7
6_A1A3_min	17,6	171,6	207,4
6_A1A3_max	-35,8	359,7	1167,9
7_A1A3_min	17,6	171,6	207,4
7_A1A3_max	-35,8	359,7	1167,9
8_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
9_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
10_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
10_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
11_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
11_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
1_B4_50a_min	19,8	203,1	242,9
1_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
2_B4_50a_min	19,8	203,1	242,9
2_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
3_B4_50a_min	19,8	203,1	242,9
3_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
4_B4_50a_min	19,8	203,1	242,9
4_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
5_B4_50a_min	17,6	176,8	212,6
5_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
6_B4_50a_min	18,3	185,6	222,7
6_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
7_B4_50a_min	18,3	185,6	222,7
7_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
8_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
9_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
10_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
10_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.

A.8 Übersichtstabellen über die baualterspezifischen Umweltwirkungen je Sanierungskonstruktion

11_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
11_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
1_C3_min	3,0	11,8	12,4
1_C3_max	89,9	25,8	-237,8
2_C3_min	3,0	11,8	12,4
2_C3_max	89,6	26,6	-236,9
3_C3_min	3,0	11,8	12,4
3_C3_max	91,5	33,2	-230,0
4_C3_min	3,0	11,8	12,4
4_C3_max	86,6	77,0	-159,5
5_C3_min	6,2	37,2	40,9
5_C3_max	87,9	8,3	-257,2
6_C3_min	1,5	23,7	28,2
6_C3_max	74,2	32,1	-164,6
7_C3_min	1,5	23,7	28,2
7_C3_max	74,2	32,1	-164,6
8_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
9_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
10_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
10_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
11_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
11_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
1_C4_min	2,6	37,6	42,4
1_C4_max	31,6	461,8	522,4
2_C4_min	2,6	37,6	42,4
2_C4_max	32,1	467,8	529,1
3_C4_min	2,6	37,6	42,4
3_C4_max	32,9	480,0	543,0
4_C4_min	2,6	37,6	42,4
4_C4_max	30,7	447,9	506,7
5_C4_min	1,6	23,0	26,0
5_C4_max	31,3	456,2	516,1
6_C4_min	3,8	12,0	13,5
6_C4_max	29,3	427,7	483,8
7_C4_min	3,8	12,0	13,5
7_C4_max	29,3	427,7	483,8
8_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
9_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
10_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
10_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
11_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
11_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
1_D_min	-2,9	-41,2	-49,1
1_D_max	-30,3	-473,0	-354,5
2_D_min	-2,9	-41,2	-49,1
2_D_max	-30,5	-476,0	-357,7
3_D_min	-2,9	-41,2	-49,1
3_D_max	-29,1	-456,3	-335,3
4_D_min	-2,9	-41,2	-49,1
4_D_max	-28,0	-434,6	-327,6
5_D_min	-1,9	-25,3	-32,5
5_D_max	-30,5	-476,9	-357,8
6_D_min	-5,6	-76,3	-96,2
6_D_max	-27,6	-419,5	-350,7
7_D_min	-5,6	-76,3	-96,2
7_D_max	-27,6	-419,5	-350,7
8_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
9_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
10_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
10_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
11_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
11_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
1_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
1_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7
2_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7
3_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7
4_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7
5_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7
6_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7
7_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7
8_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
9_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
10_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
10_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
11_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
11_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.

Tabelle A. 80: Außenwand mit Vorhang- oder hinter-/bzw. belüfteter Fassade, Sanierung – EWcwf_ren: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	21,1	212,6	255,0
1_A1A3_max	-53,5	477,5	1600,5
2_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_A1A3_min	21,8	220,8	264,5
5_A1A3_max	-51,0	460,7	1538,7
6_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_A1A3_min	0,0	0,0	0,0
9_A1A3_max	-53,5	477,5	1600,5
10_A1A3_min	0,0	0,0	0,0
10_A1A3_max	-53,5	477,5	1600,5
11_A1A3_min	0,0	0,0	0,0
11_A1A3_max	-15,6	225,2	673,5
1_B4_50a_min	22,0	229,3	273,3
1_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
2_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_B4_50a_min	22,7	238,1	283,4
5_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
6_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
9_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
10_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
10_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
11_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
11_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
1_C3_min	37,9	96,1	-234,5
1_C3_max	131,5	91,4	-516,1
2_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_C3_min	35,4	22,4	-198,2
5_C3_max	102,7	19,8	-269,5
6_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_C3_min	4,1	18,5	-10,8
9_C3_max	136,9	27,0	-354,6
10_C3_min	4,1	18,5	-10,8
10_C3_max	152,0	27,4	-386,2
11_C3_min	4,1	18,5	-10,8
11_C3_max	96,8	25,9	-235,8
1_C4_min	3,7	54,1	61,2
1_C4_max	32,4	472,4	534,4
2_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_C4_min	0,8	11,4	12,9
5_C4_max	75,1	1096,9	1240,8
6_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_C4_min	30,1	439,4	497,1
9_C4_max	58,9	859,3	972,1
10_C4_min	30,1	439,4	497,1
10_C4_max	58,9	859,3	972,1
11_C4_min	30,1	439,4	497,1
11_C4_max	58,9	859,3	972,1
1_D_min	-17,2	-227,9	33,5

A.8 Übersichtstabellen über die baualterspezifischen Umweltwirkungen je Sanierungskonstruktion

1_D_max	-47,5	-704,0	-317,2
2_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_D_min	-18,1	-227,9	-83,2
5_D_max	-33,7	-507,7	-377,8
6_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_D_min	-1,7	-23,2	-0,3
9_D_max	-49,8	-765,8	-622,2
10_D_min	-1,7	-23,2	-0,3
10_D_max	-54,5	-840,6	-688,1
11_D_min	-1,7	-23,2	-0,3
11_D_max	-36,8	-562,3	-474,1
1_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
1_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7
2_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7
6_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7
10_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7
11_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7

Tabelle A. 81: Außenwand in Massivbauweise, Sanierung – EWmas_ren: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	19,7	196,2	235,9
1_A1A3_max	-51,0	460,7	1538,7
2_A1A3_min	21,1	212,6	255,0
2_A1A3_max	-53,5	477,5	1600,5
3_A1A3_min	21,8	220,8	264,5
3_A1A3_max	-53,5	477,5	1600,5
4_A1A3_min	18,3	179,8	216,9
4_A1A3_max	-53,5	477,5	1600,5
5_A1A3_min	18,3	179,8	216,9
5_A1A3_max	-53,5	477,5	1600,5
6_A1A3_min	18,3	179,8	216,9
6_A1A3_max	-53,5	477,5	1600,5
7_A1A3_min	18,3	179,8	216,9
7_A1A3_max	-53,5	477,5	1600,5
8_A1A3_min	18,3	179,8	216,9
8_A1A3_max	-40,9	393,4	1291,5
9_A1A3_min	14,1	130,7	159,8
9_A1A3_max	-53,5	477,5	1600,5
10_A1A3_min	14,1	130,7	159,8
10_A1A3_max	-53,5	477,5	1600,5
11_A1A3_min	14,1	130,7	159,8
11_A1A3_max	-53,5	477,5	1600,5
1_B4_50a_min	20,5	211,8	253,0
1_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
2_B4_50a_min	22,0	229,3	273,3
2_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
3_B4_50a_min	22,7	238,1	283,4
3_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
4_B4_50a_min	19,1	194,3	232,8
4_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
5_B4_50a_min	19,1	194,3	232,8
5_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
6_B4_50a_min	19,1	194,3	232,8
6_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
7_B4_50a_min	19,1	194,3	232,8
7_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
8_B4_50a_min	19,1	194,3	232,8
8_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
9_B4_50a_min	14,7	141,8	172,1
9_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
10_B4_50a_min	14,7	141,8	172,1
10_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9

11_B4_50a_min	14,7	141,8	172,1
11_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
1_C3_min	-3,7	17,3	18,2
1_C3_max	88,5	6,9	-258,7
2_C3_min	-0,7	10,0	10,4
2_C3_max	93,0	5,3	-271,1
3_C3_min	0,7	13,6	15,5
3_C3_max	95,1	18,3	-254,1
4_C3_min	0,8	16,9	18,4
4_C3_max	95,1	18,3	-254,1
5_C3_min	0,8	16,9	18,4
5_C3_max	95,1	18,3	-254,1
6_C3_min	0,8	16,9	18,4
6_C3_max	95,5	23,7	-247,4
7_C3_min	0,8	16,9	18,4
7_C3_max	95,5	23,7	-247,4
8_C3_min	0,8	16,9	18,4
8_C3_max	71,5	10,0	-212,8
9_C3_min	-2,3	9,5	10,0
9_C3_max	94,8	22,3	-252,6
10_C3_min	-2,3	9,5	10,0
10_C3_max	94,9	23,7	-251,2
11_C3_min	-2,3	9,5	10,0
11_C3_max	94,9	23,7	-251,2
1_C4_min	5,0	73,2	82,8
1_C4_max	30,9	451,7	511,0
2_C4_min	1,8	25,5	28,9
2_C4_max	30,4	443,9	502,1
3_C4_min	0,6	9,4	10,7
3_C4_max	30,0	438,5	496,1
4_C4_min	2,1	30,0	34,0
4_C4_max	30,0	438,5	496,1
5_C4_min	2,1	30,0	34,0
5_C4_max	30,0	438,5	496,1
6_C4_min	2,1	30,0	34,0
6_C4_max	29,3	427,7	483,8
7_C4_min	2,1	30,0	34,0
7_C4_max	29,3	427,7	483,8
8_C4_min	2,1	30,0	34,0
8_C4_max	32,8	478,8	541,6
9_C4_min	1,3	19,6	22,2
9_C4_max	30,1	438,7	496,3
10_C4_min	1,3	19,6	22,2
10_C4_max	30,1	439,1	496,7
11_C4_min	1,3	19,6	22,2
11_C4_max	30,1	439,1	496,7
1_D_min	-2,7	-39,2	-42,9
1_D_max	-30,2	-471,7	-352,1
2_D_min	-0,6	-9,2	-10,1
2_D_max	-31,0	-485,3	-360,7
3_D_min	-1,6	-20,3	-27,1
3_D_max	-34,6	-531,2	-424,4
4_D_min	-0,2	-2,8	-3,6
4_D_max	-34,6	-531,2	-424,4
5_D_min	-0,2	-2,8	-3,6
5_D_max	-34,6	-531,2	-424,4
6_D_min	-0,2	-2,8	-3,6
6_D_max	-36,1	-550,2	-449,8
7_D_min	-0,2	-2,8	-3,6
7_D_max	-36,1	-550,2	-449,8
8_D_min	-0,2	-2,8	-3,6
8_D_max	-26,0	-405,2	-304,5
9_D_min	-1,7	-24,5	-26,8
9_D_max	-30,4	-476,1	-350,7
10_D_min	-1,7	-24,5	-26,8
10_D_max	-30,4	-476,1	-350,7
11_D_min	-1,7	-24,5	-26,8
11_D_max	-30,4	-476,1	-350,7
1_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
1_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7
2_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7
3_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7
4_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7
5_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7
6_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7
7_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7
8_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7
9_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7
10_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7
11_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7

A.8 Übersichtstabellen über die baualterspezifischen Umweltwirkungen je Sanierungskonstruktion

Tabelle A. 82: Außenwand in Holzbauweise, Sanierung – EWwood_ren: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	20,4	204,4	245,4
1_A1A3_max	-56,0	494,3	1662,3
2_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_A1A3_min	-30,8	405,5	1267,2
6_A1A3_max	-46,1	784,4	2122,4
7_A1A3_min	-30,8	405,5	1267,2
7_A1A3_max	-46,1	784,4	2122,4
8_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_A1A3_min	13,7	126,6	155,1
9_A1A3_max	-18,1	242,0	735,3
10_A1A3_min	0,0	0,0	0,0
10_A1A3_max	0,0	0,0	0,0
11_A1A3_min	0,0	0,0	0,0
11_A1A3_max	0,0	0,0	0,0
1_B4_50a_min	21,2	220,6	263,2
1_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
2_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_B4_50a_min	13,3	124,3	151,9
6_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
7_B4_50a_min	13,3	124,3	151,9
7_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
8_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_B4_50a_min	14,4	137,4	167,1
9_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
10_B4_50a_min	3,9	47,3	281,5
10_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
11_B4_50a_min	3,9	47,3	281,5
11_B4_50a_max	0,7	11,0	11,9
1_C3_min	16,0	13,0	-169,7
1_C3_max	132,2	12,3	-630,6
2_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_C3_min	68,9	-11,2	-480,1
6_C3_max	116,4	-11,9	-549,1
7_C3_min	68,9	-11,2	-480,1
7_C3_max	116,4	-11,9	-549,1
8_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_C3_min	62,3	5,5	-503,9
9_C3_max	101,0	4,2	-632,5
10_C3_min	79,3	3,6	-603,5
10_C3_max	242,9	-2,6	-2121,5
11_C3_min	79,3	3,6	-603,5
11_C3_max	242,9	-2,6	-2121,5
1_C4_min	3,1	45,0	50,9
1_C4_max	30,0	427,7	475,8
2_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_C4_min	1,1	16,3	18,2
6_C4_max	30,3	441,9	499,7
7_C4_min	1,1	16,3	18,2
7_C4_max	30,3	441,9	499,7
8_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_C4_min	0,9	13,2	14,9
9_C4_max	29,6	432,6	489,4
10_C4_min	0,3	4,9	5,6
10_C4_max	29,9	435,9	493,1
11_C4_min	0,3	4,9	5,6
11_C4_max	29,9	435,9	493,1
1_D_min	-9,4	-127,4	12,2

1_D_max	-47,7	-712,1	-307,9
2_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_D_min	-26,2	-468,9	-167,9
6_D_max	-36,7	-650,2	-352,6
7_D_min	-26,2	-468,9	-167,9
7_D_max	-36,7	-650,2	-352,6
8_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_D_min	-27,4	-367,8	13,0
9_D_max	-40,3	-566,7	-122,5
10_D_min	-34,2	-459,4	-12,7
10_D_max	-100,8	-1541,7	50,5
11_D_min	-34,2	-459,4	-12,7
11_D_max	-100,8	-1541,7	50,5
1_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
1_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7
2_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
4_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
5_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
5_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
6_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7
7_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7
8_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7
10_DofB4_min	-14,6	-193,7	53,9
10_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7
11_DofB4_min	-14,6	-193,7	53,9
11_DofB4_max	-0,1	-2,1	-2,7

Tabelle A. 83: Flachdach in Massivbauweise, Sanierung – FROMas_ren: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_A1A3_min	24,8	682,0	707,1
3_A1A3_max	40,6	1480,8	1595,5
4_A1A3_min	24,8	682,0	707,1
4_A1A3_max	40,6	1480,8	1595,5
5_A1A3_min	24,8	682,0	707,1
5_A1A3_max	40,6	1480,8	1595,5
6_A1A3_min	24,8	682,0	707,1
6_A1A3_max	40,6	1480,8	1595,5
7_A1A3_min	24,8	682,0	707,1
7_A1A3_max	40,6	1480,8	1595,5
8_A1A3_min	16,2	424,1	445,4
8_A1A3_max	40,6	1480,8	1595,5
9_A1A3_min	11,6	290,3	309,9
9_A1A3_max	42,3	1653,8	1771,9
10_A1A3_min	11,6	290,3	309,9
10_A1A3_max	42,3	1653,8	1771,9
11_A1A3_min	11,6	290,3	309,9
11_A1A3_max	42,3	1653,8	1771,9
1_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_B4_50a_min	23,5	302,2	344,3
3_B4_50a_max	30,3	817,7	891,2
4_B4_50a_min	23,5	302,2	344,3
4_B4_50a_max	30,3	817,7	891,2
5_B4_50a_min	23,5	302,2	344,3
5_B4_50a_max	30,3	817,7	891,2
6_B4_50a_min	23,5	302,2	344,3
6_B4_50a_max	30,3	817,7	891,2
7_B4_50a_min	23,5	302,2	344,3
7_B4_50a_max	30,3	817,7	891,2
8_B4_50a_min	25,0	481,3	527,3
8_B4_50a_max	30,3	817,7	891,2
9_B4_50a_min	25,0	481,3	527,3
9_B4_50a_max	31,9	996,9	1074,1
10_B4_50a_min	25,0	481,3	527,3
10_B4_50a_max	31,9	996,9	1074,1

A.8 Übersichtstabellen über die baualterspezifischen Umweltwirkungen je Sanierungskonstruktion

11_B4_50a_min	25,0	481,3	527,3
11_B4_50a_max	31,9	996,9	1074,1
1_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_C3_min	5,6	12,8	16,4
3_C3_max	41,9	34,0	39,9
4_C3_min	5,6	12,8	16,4
4_C3_max	142,3	49,5	-993,0
5_C3_min	5,6	12,8	16,4
5_C3_max	62,4	44,1	-161,8
6_C3_min	5,8	15,1	19,3
6_C3_max	44,7	19,7	24,1
7_C3_min	5,8	15,1	19,3
7_C3_max	44,7	19,7	24,1
8_C3_min	10,8	33,4	42,6
8_C3_max	68,5	33,6	41,1
9_C3_min	10,8	33,4	42,6
9_C3_max	75,1	34,5	42,3
10_C3_min	10,8	33,4	42,6
10_C3_max	75,1	34,5	42,3
11_C3_min	10,8	33,4	42,6
11_C3_max	75,1	34,5	42,3
1_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_C4_min	22,3	28,1	30,8
3_C4_max	1,9	29,5	31,6
4_C4_min	22,3	28,1	30,8
4_C4_max	2,2	33,4	36,1
5_C4_min	22,3	28,1	30,8
5_C4_max	2,2	33,4	36,1
6_C4_min	22,3	28,1	30,8
6_C4_max	6,8	58,5	62,7
7_C4_min	22,3	28,1	30,8
7_C4_max	6,8	58,5	62,7
8_C4_min	21,0	8,9	9,6
8_C4_max	2,4	38,1	41,0
9_C4_min	21,0	8,9	9,6
9_C4_max	2,8	44,3	47,6
10_C4_min	21,0	8,9	9,6
10_C4_max	2,8	44,3	47,6
11_C4_min	21,0	8,9	9,6
11_C4_max	2,8	44,3	47,6
1_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_D_min	-12,7	-192,0	-215,8
3_D_max	-20,9	-301,4	-389,6
4_D_min	-12,7	-192,0	-215,8
4_D_max	-67,7	-929,3	-208,6
5_D_min	-12,7	-192,0	-215,8
5_D_max	-30,4	-428,4	-353,1
6_D_min	-13,3	-200,1	-226,5
6_D_max	-23,7	-342,8	-438,1
7_D_min	-13,3	-200,1	-226,5
7_D_max	-23,7	-342,8	-438,1
8_D_min	-16,2	-239,1	-278,2
8_D_max	-34,7	-499,5	-645,6
9_D_min	-16,2	-239,1	-278,2
9_D_max	-37,4	-539,2	-696,7
10_D_min	-16,2	-239,1	-278,2
10_D_max	-37,4	-539,2	-696,7
11_D_min	-16,2	-239,1	-278,2
11_D_max	-37,4	-539,2	-696,7
1_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
2_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
3_DofB4_min	-2,3	-33,1	-42,4
3_DofB4_max	-5,8	-84,8	-109,0
4_DofB4_min	-2,3	-33,1	-42,4
4_DofB4_max	-5,8	-84,8	-109,0
5_DofB4_min	-2,3	-33,1	-42,4
5_DofB4_max	-5,8	-84,8	-109,0
6_DofB4_min	-2,3	-33,1	-42,4
6_DofB4_max	-5,8	-84,8	-109,0
7_DofB4_min	-2,3	-33,1	-42,4
7_DofB4_max	-5,8	-84,8	-109,0
8_DofB4_min	-2,0	-29,3	-37,6
8_DofB4_max	-5,8	-84,8	-109,0
9_DofB4_min	-2,0	-29,3	-37,6
9_DofB4_max	-5,5	-81,0	-104,2
10_DofB4_min	-2,0	-29,3	-37,6
10_DofB4_max	-5,5	-81,0	-104,2
11_DofB4_min	-2,0	-29,3	-37,6
11_DofB4_max	-5,5	-81,0	-104,2

Tabelle A. 84: Flachdach in Holzbauweise, Sanierung – FROwood_ren: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_A1A3_min	-3,9	516,1	1034,1
2_A1A3_max	-89,0	1850,0	4175,8
3_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_A1A3_min	-4,8	495,2	967,7
4_A1A3_max	-89,0	1850,0	4175,8
5_A1A3_min	-5,5	506,3	1000,6
5_A1A3_max	-89,0	1850,0	4175,8
6_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_A1A3_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_A1A3_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_A1A3_min	-1,2	50,2	158,4
9_A1A3_max	-74,9	1630,2	3518,3
10_A1A3_min	-1,2	50,2	158,4
10_A1A3_max	-74,9	1630,2	3518,3
11_A1A3_min	-1,2	50,2	158,4
11_A1A3_max	-74,9	1630,2	3518,3
1_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_B4_50a_min	22,6	289,5	330,7
2_B4_50a_max	29,4	805,0	877,6
3_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_B4_50a_min	22,6	289,5	330,7
4_B4_50a_max	29,4	805,0	877,6
5_B4_50a_min	22,6	289,5	330,7
5_B4_50a_max	29,4	805,0	877,6
6_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_B4_50a_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_B4_50a_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_B4_50a_min	31,9	996,9	1074,1
9_B4_50a_max	29,4	805,0	877,6
10_B4_50a_min	31,9	996,9	1074,1
10_B4_50a_max	29,4	805,0	877,6
11_B4_50a_min	31,9	996,9	1074,1
11_B4_50a_max	29,4	805,0	877,6
1_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_C3_min	85,1	12,5	-819,5
2_C3_max	240,2	-2,2	-1260,9
3_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_C3_min	106,1	36,0	-919,8
4_C3_max	262,6	21,8	-1376,8
5_C3_min	90,4	32,8	-843,5
5_C3_max	254,8	24,5	-1374,1
6_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_C3_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_C3_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_C3_min	222,0	4,7	-2042,0
9_C3_max	226,9	-2,2	-945,4
10_C3_min	222,0	4,7	-2042,0
10_C3_max	226,9	-2,2	-945,4
11_C3_min	222,0	4,7	-2042,0
11_C3_max	226,9	-2,2	-945,4
1_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_C4_min	1,2	18,8	20,3
2_C4_max	2,2	34,4	37,1
3_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_C4_min	1,4	21,0	22,8
4_C4_max	2,5	38,9	42,3
5_C4_min	1,3	20,5	22,2
5_C4_max	2,6	39,8	43,2
6_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_C4_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_C4_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_C4_min	1,8	28,3	30,7
9_C4_max	1,1	16,6	17,9
10_C4_min	1,8	28,3	30,7
10_C4_max	1,1	16,6	17,9
11_C4_min	1,8	28,3	30,7
11_C4_max	1,1	16,6	17,9
1_D_min	n.v.	n.v.	n.v.

A.8 Übersichtstabellen über die baualterspezifischen Umweltwirkungen je Sanierungskonstruktion

1_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_D_min	-36,3	-558,8	78,7
2_D_max	-87,5	-1407,0	-602,5
3_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_D_min	-45,0	-666,8	58,6
4_D_max	-96,9	-1524,7	-619,9
5_D_min	-38,5	-588,8	83,6
5_D_max	-94,0	-1494,3	-580,8
6_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_D_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_D_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_D_min	-98,5	-1484,2	57,0
9_D_max	-76,7	-1311,4	-769,1
10_D_min	-98,5	-1484,2	57,0
10_D_max	-76,7	-1311,4	-769,1
11_D_min	-98,5	-1484,2	57,0
11_D_max	-76,7	-1311,4	-769,1
1_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
1_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
2_DofB4_min	-2,0	-29,3	-37,6
2_DofB4_max	-5,5	-81,0	-104,2
3_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
3_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
4_DofB4_min	-2,0	-29,3	-37,6
4_DofB4_max	-5,5	-81,0	-104,2
5_DofB4_min	-2,0	-29,3	-37,6
5_DofB4_max	-5,5	-81,0	-104,2
6_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
6_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
7_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
7_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
8_DofB4_min	n.v.	n.v.	n.v.
8_DofB4_max	n.v.	n.v.	n.v.
9_DofB4_min	-5,5	-81,0	-104,2
9_DofB4_max	-5,5	-81,0	-104,2
10_DofB4_min	-5,5	-81,0	-104,2
10_DofB4_max	-5,5	-81,0	-104,2
11_DofB4_min	-5,5	-81,0	-104,2
11_DofB4_max	-5,5	-81,0	-104,2

Tabelle A. 85: Steildach im beheizten Dachgeschoss, Sanierung – PRO_h_ren: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	-27,2	411,5	1198,1
1_A1A3_max	-54,1	1225,6	2940,5
2_A1A3_min	-27,2	411,5	1198,1
2_A1A3_max	-46,5	980,8	2391,8
3_A1A3_min	-24,1	463,4	1336,8
3_A1A3_max	-60,5	1318,2	3177,7
4_A1A3_min	-12,4	404,2	1054,0
4_A1A3_max	-60,5	1318,2	3177,7
5_A1A3_min	-38,5	390,3	1295,0
5_A1A3_max	-60,5	1318,2	3177,7
6_A1A3_min	-38,5	390,3	1295,0
6_A1A3_max	-46,4	1188,9	2768,9
7_A1A3_min	-12,4	404,2	1054,0
7_A1A3_max	-46,4	1188,9	2768,9
8_A1A3_min	-23,4	431,0	1255,5
8_A1A3_max	-46,4	1188,9	2768,9
9_A1A3_min	4,8	77,0	172,5
9_A1A3_max	-29,1	909,6	2016,4
10_A1A3_min	4,8	77,0	172,5
10_A1A3_max	-29,1	909,6	2016,4
11_A1A3_min	4,8	77,0	172,5
11_A1A3_max	-29,1	909,6	2016,4
1_B4_50a_min	6,0	85,2	90,9
1_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_min	6,0	85,2	90,9
2_B4_50a_max	0,9	12,7	13,6
3_B4_50a_min	6,0	85,2	90,9
3_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_min	6,0	85,2	90,9
4_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_min	6,0	85,2	90,9
5_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_min	6,0	85,2	90,9
6_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_min	6,0	85,2	90,9
7_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
8_B4_50a_min	6,0	85,2	90,9
8_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
9_B4_50a_min	0,4	0,1	0,1
9_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
10_B4_50a_min	0,4	0,1	0,1
10_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0

11_B4_50a_min	0,4	0,1	0,1
11_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
1_C3_min	88,5	20,2	-863,4
1_C3_max	181,8	7,1	-824,7
2_C3_min	88,5	20,2	-863,4
2_C3_max	162,2	18,0	-531,7
3_C3_min	71,0	18,6	-682,3
3_C3_max	164,9	9,8	-448,6
4_C3_min	72,7	13,5	-709,6
4_C3_max	164,9	9,8	-448,6
5_C3_min	95,5	21,6	-935,3
5_C3_max	164,9	9,8	-448,6
6_C3_min	95,5	21,6	-935,3
6_C3_max	156,1	7,8	-594,6
7_C3_min	72,7	13,5	-709,6
7_C3_max	156,1	7,8	-594,6
8_C3_min	83,6	14,9	-821,4
8_C3_max	156,1	7,8	-594,6
9_C3_min	148,2	7,6	-869,0
9_C3_max	242,6	14,1	-896,6
10_C3_min	148,2	7,6	-869,0
10_C3_max	242,6	14,1	-896,6
11_C3_min	148,2	7,6	-869,0
11_C3_max	242,6	14,1	-896,6
1_C4_min	0,4	3,6	1,6
1_C4_max	1,2	18,9	20,5
2_C4_min	0,4	3,6	1,6
2_C4_max	0,1	2,0	2,2
3_C4_min	0,4	6,3	7,1
3_C4_max	0,3	3,9	4,5
4_C4_min	0,4	5,9	6,7
4_C4_max	0,3	3,9	4,5
5_C4_min	3,2	4,1	4,6
5_C4_max	0,3	3,9	4,5
6_C4_min	3,2	4,1	4,6
6_C4_max	0,3	3,9	4,5
7_C4_min	0,4	5,9	6,7
7_C4_max	0,3	3,9	4,5
8_C4_min	0,4	6,0	6,8
8_C4_max	0,3	3,9	4,5
9_C4_min	0,7	10,5	11,9
9_C4_max	0,4	5,5	6,2
10_C4_min	0,7	10,5	11,9
10_C4_max	0,4	5,5	6,2
11_C4_min	0,7	10,5	11,9
11_C4_max	0,4	5,5	6,2
1_D_min	-43,4	-579,4	92,0
1_D_max	-62,8	-1001,3	-493,5
2_D_min	-43,4	-579,4	92,0
2_D_max	-54,9	-834,3	-548,7
3_D_min	-35,5	-472,7	56,8
3_D_max	-51,4	-865,8	-671,3
4_D_min	-36,1	-481,3	66,4
4_D_max	-51,4	-865,8	-671,3
5_D_min	-48,2	-647,2	78,5
5_D_max	-51,4	-865,8	-671,3
6_D_min	-48,2	-647,2	78,5
6_D_max	-51,6	-842,8	-507,3
7_D_min	-36,1	-481,3	66,4
7_D_max	-51,6	-842,8	-507,3
8_D_min	-41,1	-549,1	85,8
8_D_max	-51,6	-842,8	-507,3
9_D_min	-54,4	-866,1	-273,6
9_D_max	-80,2	-1305,6	-805,4
10_D_min	-54,4	-866,1	-273,6
10_D_max	-80,2	-1305,6	-805,4
11_D_min	-54,4	-866,1	-273,6
11_D_max	-80,2	-1305,6	-805,4
1_DofB4_min	-1,6	-22,7	-29,2
1_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_min	-1,6	-22,7	-29,2
2_DofB4_max	-0,3	-3,7	-4,8
3_DofB4_min	-1,6	-22,7	-29,2
3_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_min	-1,6	-22,7	-29,2
4_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_min	-1,6	-22,7	-29,2
5_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_min	-1,6	-22,7	-29,2
6_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_min	-1,6	-22,7	-29,2
7_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_min	-1,6	-22,7	-29,2
8_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_min	-0,2	-2,8	-3,6
9_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_min	-0,2	-2,8	-3,6
10_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_min	-0,2	-2,8	-3,6
11_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

A.8 Übersichtstabellen über die baualterspezifischen Umweltwirkungen je Sanierungskonstruktion

Tabelle A. 86: Gebäudetrennwand unter GOK im beheizten Keller, Sanierung – SCW_h_ren: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	-9,4	173,1	463,7
1_A1A3_max	-10,6	269,3	661,0
2_A1A3_min	-9,4	173,1	463,7
2_A1A3_max	-12,9	286,5	721,0
3_A1A3_min	-9,4	173,1	463,7
3_A1A3_max	-12,9	286,5	721,0
4_A1A3_min	-9,4	173,1	463,7
4_A1A3_max	-12,9	286,5	721,0
5_A1A3_min	-9,4	173,1	463,7
5_A1A3_max	-12,9	286,5	721,0
6_A1A3_min	-8,8	163,0	432,5
6_A1A3_max	-12,9	286,5	721,0
7_A1A3_min	-8,8	163,0	432,5
7_A1A3_max	-12,9	286,5	721,0
8_A1A3_min	-8,8	163,0	432,5
8_A1A3_max	-12,9	286,5	721,0
9_A1A3_min	-9,4	173,1	463,7
9_A1A3_max	-3,5	217,8	480,8
10_A1A3_min	-9,4	173,1	463,7
10_A1A3_max	1,2	183,5	360,8
11_A1A3_min	-9,4	173,1	463,7
11_A1A3_max	3,5	166,3	300,7
1_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
1_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
8_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
8_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
9_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
9_B4_50a_max	6,4	85,7	91,2
10_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
10_B4_50a_max	8,6	114,3	121,6
11_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
11_B4_50a_max	10,2	135,7	144,3
1_C3_min	19,1	-0,7	-211,8
1_C3_max	28,8	6,2	-57,4
2_C3_min	19,6	-2,1	-213,2
2_C3_max	34,1	2,1	-69,7
3_C3_min	20,7	5,1	-203,9
3_C3_max	35,2	9,3	-60,4
4_C3_min	20,7	5,1	-203,9
4_C3_max	35,7	16,6	-51,2
5_C3_min	20,7	5,1	-203,9
5_C3_max	35,7	16,6	-51,2
6_C3_min	17,1	-0,1	-195,1
6_C3_max	35,7	16,6	-51,2
7_C3_min	17,1	-0,1	-195,1
7_C3_max	35,7	16,6	-51,2
8_C3_min	17,1	-0,1	-195,1
8_C3_max	35,4	12,3	-56,6
9_C3_min	20,6	7,2	-203,0
9_C3_max	24,7	24,2	-9,6
10_C3_min	20,6	7,2	-203,0
10_C3_max	18,3	24,2	6,5
11_C3_min	20,6	7,2	-203,0
11_C3_max	15,4	24,2	14,5
1_C4_min	1,3	19,3	21,8
1_C4_max	2,5	36,5	41,3
2_C4_min	0,8	12,1	13,7
2_C4_max	1,0	15,0	17,0
3_C4_min	0,4	5,5	6,2
3_C4_max	0,6	8,4	9,5
4_C4_min	0,4	5,5	6,2
4_C4_max	0,6	8,4	9,5
5_C4_min	0,4	5,5	6,2
5_C4_max	0,6	8,4	9,5
6_C4_min	1,8	25,5	28,8
6_C4_max	0,6	8,4	9,5
7_C4_min	1,8	25,5	28,8
7_C4_max	0,6	8,4	9,5
8_C4_min	1,8	25,5	28,8
8_C4_max	0,6	8,4	9,5
9_C4_min	0,2	3,0	3,3
9_C4_max	0,6	9,4	10,7
10_C4_min	0,2	3,0	3,3
10_C4_max	0,6	9,4	10,7
11_C4_min	0,2	3,0	3,3
11_C4_max	0,6	9,4	10,7
1_D_min	-8,7	-160,3	0,7

1_D_max	-10,8	-171,9	-156,8
2_D_min	-8,4	-155,3	6,1
2_D_max	-11,0	-175,6	-156,9
3_D_min	-10,4	-180,6	-28,9
3_D_max	-12,9	-201,0	-191,9
4_D_min	-10,4	-180,6	-28,9
4_D_max	-14,9	-226,8	-226,5
5_D_min	-10,4	-180,6	-28,9
5_D_max	-14,9	-226,8	-226,5
6_D_min	-8,3	-155,1	-7,0
6_D_max	-14,9	-226,8	-226,5
7_D_min	-8,3	-155,1	-7,0
7_D_max	-14,9	-226,8	-226,5
8_D_min	-8,3	-155,1	-7,0
8_D_max	-13,8	-211,6	-206,1
9_D_min	-8,1	-150,7	11,2
9_D_max	-13,8	-200,0	-223,6
10_D_min	-8,1	-150,7	11,2
10_D_max	-11,9	-169,9	-200,0
11_D_min	-8,1	-150,7	11,2
11_D_max	-11,2	-156,6	-190,5
1_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
1_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_max	-1,5	-21,7	-27,9
10_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_max	-2,0	-29,0	-37,3
11_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_max	-2,4	-34,4	-44,3

Tabelle A. 87: Oberste Geschossdecke zu unbeheiztem Dachgeschoss, Sanierung – TFL_uh_ren: min. und max. Umweltwirkungen je LZPH, BK und Indikator; eigene Darstellung

Indicator unit	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PET [MJ/m ²]
1_A1A3_min	30,8	394,6	458,8
1_A1A3_max	-54,9	697,1	1983,3
2_A1A3_min	30,8	394,6	458,8
2_A1A3_max	-53,6	692,3	1954,9
3_A1A3_min	28,1	360,3	418,9
3_A1A3_max	-78,0	694,4	2271,9
4_A1A3_min	8,8	268,8	492,1
4_A1A3_max	-78,0	694,4	2271,9
5_A1A3_min	8,8	268,8	492,1
5_A1A3_max	-51,7	665,0	1886,9
6_A1A3_min	28,1	360,3	418,9
6_A1A3_max	-54,3	690,9	1964,7
7_A1A3_min	28,1	360,3	418,9
7_A1A3_max	-54,3	690,9	1964,7
8_A1A3_min	8,8	268,8	492,1
8_A1A3_max	-54,3	690,9	1964,7
9_A1A3_min	10,7	137,2	159,6
9_A1A3_max	-78,0	694,4	2271,9
10_A1A3_min	10,7	137,2	159,6
10_A1A3_max	-78,0	694,4	2271,9
11_A1A3_min	10,7	137,2	159,6
11_A1A3_max	-78,0	694,4	2271,9
1_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
1_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
2_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
3_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
4_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
5_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
6_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
7_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
8_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
8_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
9_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
9_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
10_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
10_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0

A.8 Übersichtstabellen über die baualterspezifischen Umweltwirkungen je Sanierungskonstruktion

11_B4_50a_min	0,0	0,0	0,0
11_B4_50a_max	0,0	0,0	0,0
1_C3_min	63,2	29,1	-623,3
1_C3_max	177,4	11,5	-656,0
2_C3_min	63,2	29,1	-623,3
2_C3_max	183,6	12,0	-872,9
3_C3_min	1,6	33,2	37,6
3_C3_max	142,8	15,7	-343,7
4_C3_min	61,9	15,7	-412,6
4_C3_max	147,5	15,8	-343,5
5_C3_min	61,9	15,7	-412,6
5_C3_max	181,4	5,1	-687,7
6_C3_min	1,5	34,0	37,9
6_C3_max	158,4	5,1	-546,8
7_C3_min	1,5	34,0	37,9
7_C3_max	158,4	5,1	-546,8
8_C3_min	61,9	15,7	-412,6
8_C3_max	158,4	5,1	-546,8
9_C3_min	1,6	35,4	39,7
9_C3_max	197,3	22,8	-334,4
10_C3_min	1,6	35,4	39,7
10_C3_max	197,3	22,8	-334,4
11_C3_min	1,6	35,4	39,7
11_C3_max	197,3	22,8	-334,4
1_C4_min	0,6	6,3	4,7
1_C4_max	1,1	7,4	1,5
2_C4_min	0,6	6,3	4,7
2_C4_max	0,6	8,4	9,5
3_C4_min	2,3	33,9	37,7
3_C4_max	2,0	28,5	32,2
4_C4_min	0,4	5,7	6,5
4_C4_max	2,0	28,5	32,2
5_C4_min	0,4	5,7	6,5
5_C4_max	0,5	7,7	8,7
6_C4_min	0,3	5,1	5,8
6_C4_max	0,6	8,7	9,9
7_C4_min	0,3	5,1	5,8
7_C4_max	0,6	8,7	9,9
8_C4_min	0,4	5,7	6,5
8_C4_max	0,6	8,7	9,9
9_C4_min	0,3	5,1	5,8
9_C4_max	1,0	14,9	16,8
10_C4_min	0,3	5,1	5,8
10_C4_max	1,0	14,9	16,8
11_C4_min	0,3	5,1	5,8
11_C4_max	1,0	14,9	16,8
1_D_min	-29,3	-391,0	114,3
1_D_max	-60,7	-926,2	-467,7
2_D_min	-29,3	-391,0	114,3
2_D_max	-66,2	-996,4	-442,7
3_D_min	-3,7	-48,7	-65,1
3_D_max	-48,7	-745,3	-617,6
4_D_min	-22,1	-343,3	-37,5
4_D_max	-50,4	-763,5	-641,0
5_D_min	-22,1	-343,3	-37,5
5_D_max	-63,5	-935,1	-545,8
6_D_min	-3,0	-39,1	-52,2
6_D_max	-53,3	-818,0	-528,5
7_D_min	-3,0	-39,1	-52,2
7_D_max	-53,3	-818,0	-528,5
8_D_min	-22,1	-343,3	-37,5
8_D_max	-53,3	-818,0	-528,5
9_D_min	-3,4	-44,2	-59,1
9_D_max	-64,0	-1023,1	-976,2
10_D_min	-3,4	-44,2	-59,1
10_D_max	-64,0	-1023,1	-976,2
11_D_min	-3,4	-44,2	-59,1
11_D_max	-64,0	-1023,1	-976,2
1_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
1_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
2_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
3_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
4_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
5_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
6_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
7_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
8_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
9_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
10_DofB4_max	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_min	0,0	0,0	0,0
11_DofB4_max	0,0	0,0	0,0

A.9 Berechnungslogiken der Bauteilflächen für die LCA auf Quartiersebene

Tabelle A. 88 definiert die Variablen und Attribute der geometrischen und energetischen Gebäudeeigenschaften in englischer Sprache, damit sie international nachvollzogen werden können. Sie bilden die Grundlage für die nachfolgenden Flächenberechnungen der Quartiersentwicklungsszenarien (siehe Tabelle A. 89 bis Tabelle A. 93). Damit die Logiken von Programmierenden besser verstanden werden können, wird „Consolas“ als Clear-Type-Schriftart verwendet.

Tabelle A. 88: Definierte Variablen und Attribute zu den geometrischen und energetischen Gebäudeeigenschaften; eigene Darstellung in englischer Sprache

Variable	Explanation	Basics and definitions
<code>bldg:YearOfConstruction</code> [Value: Integer]	-	If it is not still existing, this must be deposit as an attribute at the 3D city model
<code>BAC</code> [Value: String]	Building age class	To be calculated and deposit as an attribute: If <code>bldg:YearOfConstruction</code> < 1919, then "BAC1"; else if 1918 < <code>bldg:YearOfConstruction</code> < 1949, then "BAC2"; else if 1948 < <code>bldg:YearOfConstruction</code> < 1958, then "BAC3"; else if 1957 < <code>bldg:YearOfConstruction</code> < 1969, then "BAC4"; else if 1968 < <code>bldg:YearOfConstruction</code> < 1979, then "BAC5"; else if 1978 < <code>bldg:YearOfConstruction</code> < 1984, then "BAC6"; else if 1983 < <code>YearOfConstruction</code> < 1995, then "BAC7"; else if 1994 < <code>bldg:YearOfConstruction</code> < 2002, then "BAC8"; else if 2001 < <code>bldg:YearOfConstruction</code> < 2010, then "BAC9"; else if 2009 < <code>bldg:YearOfConstruction</code> < 2016, then "BAC10"; else if 2015 < <code>bldg:YearOfConstruction</code> < 2021, then "BAC11"; else if 2020 < <code>bldg:YearOfConstruction</code> , then "nb"
<code>StoreysAboveGround_V0</code> [Value: Integer]	at date t=0	<code>StoreysAboveGround_V0</code> = <code>bldg:storeysAboveGround</code> , must be > 0
<code>StoreysAboveGround_V1</code> [Value: Integer]	at date t=1	If <code>bldg:roofType</code> = 1000 then <code>StoreysAboveGround_V1</code> = <code>bldg:storeysAboveGround</code> + 2 else (<code>bldg:roofType</code> > 1000) <code>StoreysAboveGround_V1</code> = <code>bldg:storeysAboveGround</code> + 1 (in the last case the height of the former pitched roof is considered)
<code>StoreysBelowGround_V0</code> [Value: Integer]	at date t=0	To be defined by user and to be deposit as an attribute, here defined with 1
<code>StoreysBelowGround_V1</code> [Value: Integer]	at date t=1	To be defined by user and to be deposit as an attribute, here defined with 1

A.9 Berechnungslogiken der Bauteilflächen für die LCA auf Quartiersebene

RoofType_V0 [Value: String]	at date t=0	Pitched Roof, if <code>bldg:roofType > 1000</code> and Flat roof, if <code>bldg:roofType = 1000</code>
RoofType_V1	at date t=1	Here always defined as flat roof: RoofType_V1 = 1000
SC [Value: String]	Scenario	<p>“SC1.1”: StatusQuo with min. environmental value without phase D</p> <p>“SC1.2”: StatusQuo with max. environmental value without phase D</p> <p>“SC1.3”: StatusQuo with min. environmental value with phase D</p> <p>“SC1.4”: StatusQuo with ax. environmental value with phase D</p> <p>“SC2.1.1”: Renovation with same volume, min. environmental value and without phase D</p> <p>“SC2.1.2”: Renovation with same volume, max. environmental value and without phase D</p> <p>“SC2.1.3”: Renovation with same volume, min. environmental value and with phase D</p> <p>“SC2.1.4”: Renovation with same volume, max. environmental value and with phase D</p> <p>“SC2.2.1”: Renovation with densification (2 more storeys), min. environmental value and without phase D</p> <p>“SC2.2.2”: Renovation with densification (2 more storeys), max. environmental value and without phase D</p> <p>“SC2.2.3”: Renovation with densification (2 more storeys), min. environmental value and with phase D</p> <p>“SC2.2.4”: Renovation with densification (2 more storeys), max. environmental value and with phase D</p> <p>“SC3.1.1”: Demolition and new construction (2 more storeys) with timber construction, min. environmental value and without phase D</p> <p>“SC3.1.2”: Demolition and new construction (2 more storeys) with timber construction, max. environmental value and without phase D</p> <p>“SC3.1.3”: Demolition and new construction (2 more storeys) with timber construction, min. environmental value and with phase D</p> <p>“SC3.1.4”: Demolition and new construction (2 more storeys) with timber construction, max. environmental value and with phase D</p> <p>“SC3.2.1”: Demolition and new construction (2 more storeys) with massive construction, min. environmental value and without phase D</p> <p>“SC3.2.2”: Demolition and new construction (2 more storeys) with massive construction, max. environmental value and without phase D</p> <p>“SC3.2.3”: Demolition and new construction (2 more storeys) with massive construction, min. environmental value and with phase D</p> <p>“SC3.2.4”: Demolition and new construction (2 more storeys) with massive construction, max. environmental value and with phase D</p>
HTFL_V0 [Value: String]	HeatedTopFloor; to determine, if top floor	“false“(not heated) or “true“(heated)

	is heated at date t= 0; only, of bldg:roofType is > 1000	
HTFL_V1 [Value: String]	HeatedTopFloor; to determine, if top floor is heated at date t= 1; only, of bldg:roofType is > 1000	"false"(not heated) or "true"(heated)
HCFL_V0 [Value: String]	HeatedCellarFloor; to determine, if cellar floor is heated at date t= 0	"false"(not heated) or "true"(heated)
HCFL_V1 [Value: String]	HeatedCellarFloor; to determine, if cellar floor is heated at date t= 1	"false"(not heated) or "true"(heated)
GrossExternalArea_V0 [Value: Double]	at date t=0	Calculated by: bldg:GroundSurface * (StoreysAboveGround_V0 + StoreysBelowGround_V0)
GrossExternalArea_V1 [Value: Double]	at date t=1	Calculated by: bldg:GroundSurface * (StoreysAboveGround_V1 + StoreysBelowGround_V1)
NetExternalArea_V0 [Value: Double]	or net floor area at date t=0	Calculated by: GrossExternalArea_V0 * 0,89
NetExternalArea_V1 [Value: Double]	or net floor area at date t=1	Calculated by: GrossExternalArea_V1 * 0,89
BuildingType [Value: String]	of residential building	BuildingType = SFH: if StoreysAboveGround_V0 <= 2 and/or NetExternalArea_V0 <= 300 [m ²] BuildingType = MFH: If StoreysAboveGround_V0 > 2 and/or NetExternalArea > 300 [m ²] ("SFH": SingleFamilyHouse, also valid for two family houses; "MFH": MultiFamilyHouse)
IWTEW [Value: Double] (InteriorWallToExterior- Wall)	InteriorWallToExteri- orWall; share of area interior wall to area exterior wall	IWTEW must be > 0; to be defined by user Here defined with: IWTEW_SFH = 0.54 (for SFH) IWTEW_MFH = 1.34 (for MFH)
FTBP [Value: Double]	FoundationTo- BasePlate; share of area founda- tion to area base plate	Between 0 and 1; to be defined by user for old build- ings, not required for new buildings Here defined: if BAC == BAC1 to BAC8 then FTBP = 0.27 else FTBP = 0.00
WTWR_V0 [Value: Double]	WindowToWallRatio; Share of area window to area exterior wall at date t= 0	Between 0 and 1; to be defined by user Here defined with: WTWR_SFH_V0 = 0.12 WTWR_MFH_V0 = 0.15

A.9 Berechnungslogiken der Bauteilflächen für die LCA auf Quartiersebene

WTWR_V1 [Value: Double]	WindowToWallRatio; Share of area window to area exterior wall at date t= 1	Between 0 and 1; to be defined by user Here defined with: WTWR_SFH_V1 = 0.12 WTWR_MFH_V1 = 0.15
bldg:areaSharedWall_V0	Area of walls at date t=0, which are used parallelly by neigh- bouring buildings, e. g. at terraced houses	This area must be determined and deposited; in the used 3D-city model this are still exists (see Harter (2021, S. 38))
bldg:areaSharedWall_V1	Area of walls at date t=1, which are used parallelly by neigh- bouring buildings, e. g. at terraced houses	This area must be determined and deposited; in the used 3D-city model this are still exists (see Harter (2021, S. 38))

Description:

A variable, which is highlighted in orange is a basic attribute in the 3D-city model; if not, they should be determined and deposit before the calculation.

A variable, which is highlighted in blue is a new defined variable. It must be determined at the beginning of the calculation.

Date t=0: At t=0 the 3D-city model shows the current properties of the existing buildings; all dependent building variables get the index “_V0”

Date t=1: At t=1 the 3D-city model shows the future properties of the existing buildings (e. g. after renovation or demolition and new building).

Tabelle A. 89: Berechnungslogik der Basisdaten; eigene Darstellung in englischer Sprache

Following Attributes must be deposited in the 3D-city model for each building from the beginning

bldg:function
 bldg:YearOfConstruction;
 bldg:storeysAboveGround
 bldg:roofType
 bldg:GroundSurface
 bldg:WallSurface
 bldg:RoofSurface
 bldg:areaSharedWall_V0
 bldg:areaSharedWall_V1

Then, the values of the variables must be inquired and stored in the digital model, which must be defined by the user

StoreysBelowGround_V0
 StoreysBelowGround_V1
 HTFL_V0
 HTFL_V1
 HCFL_V0
 HCFL_V1
 IWTEW_SFH
 IWTEW_MFH
 FTBP
 WTWR_SFH_V0
 WTWR_SFH_V1
 WTWR_MFH_V0
 WTWR_MFH_V1

Now, the basic attributes and variables can be calculated for each residential building, which are needed for calculating the LCA of the following scenarios; please consider Tabelle A. 88

If `bldg:function == 31001_100`, then (*calculate*)

BAC
 StoreysAboveGround_V0
 StoreysAboveGround_V1
 RoofType_V0
 RoofType_V1
 GrossExternalArea_V0
 GrossExternalArea_V1
 NetExternalArea_V0

NetExternalArea_V1

BuildingType

```
if RoofType_V0 > 1000 then
  AreaPitchedRoof_V0 = bldg:RoofSurface
  AreaFlatRoof_V0 = 0
else (RoofType_V0 = 1000)
  AreaPitchedRoof_V0 = 0
  AreaFlatRoof_V0 = bldg:RoofSurface
```

AreaPitchedRoof_V1 = 0 (*at the following scenarios AreaPitchedRoof_V1 doesn't exist*)

AreaFlatRoof_V1 = bldg:RoofSurface

AreaGroundFloor = bldg:GroundSurface (*as AreaGroundFloor_V0 would be the same as AreaGroundFloor_V1, you don't need the differentiation between V0 and V1*)

AreaExteriorWall_total_V0 = bldg:WallSurface (*at date t= 0; this area includes the area of exterior wall, with area of windows but without area of shared walls*)

AreaExteriorWall_total_V1 = bldg:WallSurface (*at date t= 1; this area includes the area of exterior wall, with area of windows but without area of shared walls*)

Description:

A variable, which is highlighted in orange is a basic attribute in the 3D-city model; if not, they should be determined and deposit before the calculation.

A variable or value, which is highlighted in blue is newly defined.

Additional comments are highlighted in green and italic.

Tabelle A. 90: Berechnungslogik Bauteilflächen Szenario 1, Status Quo; eigene Darstellung in englischer Sprache

The areas of each residential building of scenario 1, status quo is calculated as follows:

Firstly, please define SC.

If SC == 1.1 or if SC == 1.2 or if SC == 1.3 or if SC == 1.4 then

AreaPitchedRoof_old = AreaPitchedRoof_V0

AreaFlatRoof_old = AreaFlatRoof_V0

if BuildingType == SFH then

AreaWindow_old = WTWR_SFH_V0 * AreaExteriorWall_total_V0

else

AreaWindow_old = WTWR_MFH_V0 * AreaExteriorWall_total_V0

AreaExteriorWall_old = AreaExteriorWall_total_V0 - AreaWindow_old

AreaSharedWall_old = AreaSharedWall_V0

if StoreysBelowGround_V0 > 0 then

AreaCellarWall_old = (AreaExteriorWall_total_V0 / StoreysAboveGround_V0) * StoreysBelowGround_V0

AreaSharedCellarWall_old = (AreaSharedWall_V0 / StoreysAboveGround_V0) * StoreysBelowGround_V0

else (*StoreysBelowGround <= 0*)

AreaCellarWall_old = 0

AreaSharedCellarWall_old = 0

if BuildingType == SFH then

AreaInteriorWall_old = IWTEW_SFH * (AreaExteriorWall_total_V0 + AreaSharedWall_V0 + AreaCellarWall_old + AreaSharedCellarWall_old)

else (*BuildingType == MFH*)

AreaInteriorWall_old = IWTEW_MFH * (AreaExteriorWall_total_V0 + AreaSharedWall_V0 + AreaCellarWall_old + AreaSharedCellarWall_old)

AreaBasePlate_old = AreaGroundFloor

AreaFoundation_old = FTBP * AreaBasePlate_old (*only for BAC 1 to 8, afterwards FTBP = 0*)

if RoofType_V0 > 1000 then

if HTFL_V0 == false then

AreaTopFloor_old = AreaGroundFloor

else (*HTFL_V0 == true*)

AreaTopFloor_old = 0

else (*RoofType_V0 = 1000*)

AreaTopFloor_old = 0

If StoreysBelowGround_V0 > 0 then

if HCFL_V0 == false

AreaCellarFloor_old = AreaGroundFloor

```
else (HCFL_V0 == true)
    AreaCellarFloor_old = 0
else (StoreysBelowGround <= 0)
    AreaCellarFloor_old = 0

If RoofType_V0 = 1000 then
    if StoreysBelowGround_V0 > 0 then
        if HCFL_V0 == true then
            AreaFloor_old = (StoreysAboveGround_V0 + (StoreysBelowGround_V0 - 1))
                * AreaGroundFloor
        else (HCFL_V0 == false)
            AreaFloor_old = ((StoreysAboveGround_V0 - 1)
                + (StoreysBelowGround_V0 - 1)) * AreaGroundFloor
        else (StoreysBelowGround_V0 <= 0)
            AreaFloor_old = (StoreysAboveGround_V0 - 1) * AreaGroundFloor
    else (RoofType_V0 > 1000)
        if StoreysBelowGround_V0 > 0 then
            if HCFL_V0 == true then
                if HTFL_V0 == true then
                    AreaFloor_old = (StoreysAboveGround_V0
                        + (StoreysBelowGround_V0 - 1)) * AreaGroundFloor
                else (HTFL_V0 == false)
                    AreaFloor_old = ((StoreysAboveGround_V0 - 1)
                        + (StoreysBelowGround_V0 - 1)) * AreaGroundFloor
            else (HCFL_V0 == false)
                if HTFL_V0 == true then
                    AreaFloor_old = ((StoreysAboveGround_V0 - 1)
                        + (StoreysBelowGround_V0 - 1)) * AreaGroundFloor
                else (HTFL_V0 == false)
                    AreaFloor_old = ((StoreysAboveGround_V0 - 2)
                        + (StoreysBelowGround_V0 - 1)) * AreaGroundFloor
        else (StoreysBelowGround_V0 <= 0)
            if HTFL_V0 == true then
                AreaFloor_old = (StoreysAboveGround_V0 - 1) * AreaGroundFloor
            else (HTFL_V0 == false)
                AreaFloor_old = (StoreysAboveGround_V0 - 2) * AreaGroundFloor
```

Description:

A variable or value, which is highlighted in blue is newly defined in this scenario.

Additional comments are highlighted in green and italic.

Tabelle A. 91: Berechnungslogik Bauteilflächen Szenario 2.1, Sanierung mit gleichbleibender Gebäudekubatur; eigene Darstellung in englischer Sprache

The areas of each residential building of scenario 2.1, renovation with same volume is calculated as follows:

```

If SC == 2.1.1 or if SC == 2.1.2 or if SC == 2.1.3 or if SC == 2.1.4 then

  if RoofType_V0 > 1000 then
    if HTFL_V1 == true then
      AreaPitchedRoof_ren = AreaPitchedRoof_V0
      AreaPitchedRoof_old = 0
      AreaFlatRoof_ren = 0
    else (HTFL_V1 == false)
      AreaPitchedRoof_ren = 0
      AreaPitchedRoof_old = AreaPitchedRoof_V0
      AreaFlatRoof_ren = 0
    else (RoofType_V0 = 1000)
      AreaFlatRoof_ren = AreaFlatRoof_V0
      AreaPitchedRoof_ren = 0
      AreaPitchedRoof_old = 0
  if BuildingType == SFH then
    AreaWindow_ren = WTWR_SFH_V0 * AreaExteriorWall_total_V0
  else (BuildingType == MFH)
    AreaWindow_ren = WTWR_MFH_V0 * AreaExteriorWall_total_V0

  AreaExteriorWall_ren = AreaExteriorWall_total_V0 - AreaWindow_ren

  AreaSharedWall_old = AreaSharedWall_V0

  if StoreysBelowGround_V0 > 0 then
    if HCFL_V1 == true then
      AreaCellarWall_ren = (AreaExteriorWall_total_V0 / StoreysAboveGround_V0)
      * StoreysBelowGround_V0
      AreaCellarWall_old = 0
      AreaSharedCellarWall_ren = (AreaSharedWall_V0 / StoreysAboveGround_V0)
      * StoreysBelowGround_V0
      AreaSharedCellarWall_old = 0
    else (HCFL_V1 == false)
      AreaCellarWall_ren = 0
      AreaCellarWall_old = (AreaExteriorWall_total_V0 / StoreysAboveGround_V0)
      * StoreysBelowGround_V0
      AreaSharedCellarWall_ren = 0
      AreaSharedCellarWall_old = (AreaSharedWall_V0 / StoreysAboveGround_V0)
      * StoreysBelowGround_V0
    else (StoreysBelowGround <= 0)
      AreaCellarWall_ren = 0
      AreaCellarWall_old = 0
      AreaSharedCellarWall_ren = 0
      AreaSharedCellarWall_old = 0

  if BuildingType == SFH then

```

```

AreaInteriorWall_old = IWTEW_SFH * (AreaExteriorWall_total_V0
+ AreaSharedWall_V0 + AreaCellarWall_ren + AreaCellarWall_old
+ AreaSharedCellarWall_ren + AreaSharedCellarWall_old)
else (BuildingType == MFH)
AreaInteriorWall_old = IWTEW_MFH * (AreaExteriorWall_total_V0
+ AreaSharedWall_V0 + AreaCellarWall_ren + AreaCellarWall_old
+ AreaSharedCellarWall_ren + AreaSharedCellarWall_old)

if StoreysBelowGround > 0 then
  if HCFL_V1 == false then
    AreaBasePlate_old = AreaGroundFloor
    AreaBasePlate_ren = 0
  else (HCFL_V1 == true)
    AreaBasePlate_old = 0
    AreaBasePlate_ren = AreaGroundFloor
else (StoreysBelowGround <= 0)
  AreaBasePlate_old = 0
  AreaBasePlate_ren = AreaGroundFloor

AreaFoundation_old = FTBP * AreaGroundFloor (only for BAC 1 to 8, afterwards
FTBP = 0)

if RoofType_V0 > 1000 then
  if HTFL_V0 == false then
    if HTFL_V1 == false then
      AreaTopFloor_ren = AreaGroundFloor
      AreaTopFloor_old = 0
    else (HTFL_V1 == true)
      AreaTopFloor_ren = 0
      AreaTopFloor_old = AreaGroundFloor
    else (HTFL_V0 == true)
      if HTFL_V1 == true then
        AreaTopFloor_ren = 0
        AreaTopFloor_old = 0
      else (HTFL_V1 == false)
        AreaTopFloor_ren = AreaGroundFloor
        AreaTopFloor_old = 0
    else (RoofType_V0 = 1000)
      AreaTopFloor_ren = 0
      AreaTopFloor_old = 0

if StoreysBelowGround_V0 > 0 then
  if HCFL_V0 == false then
    if HCFL_V1 == false then
      AreaCellarFloor_ren = AreaGroundFloor
      AreaCellarFloor_old = 0
    else (HCFL_V1 == true)
      AreaCellarFloor_ren = 0
      AreaCellarFloor_old = AreaGroundFloor
  else (HCFL_V0 == true)

```

```

    if HCFL_V1 == true then
        AreaCellarFloor_ren = 0
        AreaCellarFloor_old = 0
    else (HCFL_V1 == false)
        AreaCellarFloor_ren = AreaGroundFloor
        AreaCellFloor_old = 0
Else (StoreysBelowGround_V0 <= 0)
    AreaCellarFloor_ren = 0
    AreaCellarFloor_old = 0

if RoofType_V0 = 1000 then
    if StoreysBelowGround_V0 > 0 then
        if HCFL_V0 == false then
            AreaFloor_old = ((StoreysAboveGround_V0 - 1)
                + (StoreysBelowGround_V0 - 1)) * AreaGroundFloor
        else (HCFL_V0 == true)
            if HCFL_V1 == true then
                AreaFloor_old = (StoreysAboveGround_V0
                    + (StoreysBelowGround_V0 - 1)) * AreaGroundFloor
            else (HCFL_V1 == false)
                AreaFloor_old = ((StoreysAboveGround_V0 - 1)
                    + (StoreysBelowGround_V0 - 1)) * AreaGroundFloor
        else (StoreysBelowGround_V0 <= 0)
            AreaFloor_old = (StoreysAboveGround_V0 - 1) * AreaGroundFloor
    else (RoofType > 1000)
        if StoreysBelowGround_V0 > 0 then
            if HCFL_V0 == false then
                if HTFL_V0 == false then
                    AreaFloor_old = ((StoreysAboveGround_V0 - 2)
                        + (StoreysBelowGround_V0 - 1)) * AreaGroundFloor
                else (HTFL_V0 == true)
                    if HTFL_V1 == true then
                        AreaFloor_old = ((StoreysAboveGround_V0 - 1)
                            + (StoreysBelowGround_V0 - 1)) * AreaGroundFloor
                    else (HTFL_V1 == false)
                        AreaFloor_old = ((StoreysAboveGround_V0 - 2)
                            + (StoreysBelowGround_V0 - 1)) * AreaGroundFloor
                else (HCFL_V0 == true)
                    if HCFL_V1 == false then
                        if HTFL_V0 == false then
                            AreaFloor_old = ((StoreysAboveGround_V0 - 2)
                                + (StoreysBelowGround_V0 - 1)) * AreaGroundFloor
                        else (HTFL_V0 == true)
                            if HTFL_V1 == true then
                                AreaFloor_old = ((StoreysAboveGround_V0 - 1)
                                    + (StoreysBelowGround_V0 - 1)) * AreaGroundFloor
                            else (HTFL_V1 == false)
                                AreaFloor_old = ((StoreysAboveGround_V0 - 2)
                                    + (StoreysBelowGround_V0 - 1)) * AreaGroundFloor
                    else (HCFL_V1 == true)

```

```
if HTFL_V0 == true then
  if HTFL_V1 == true then
    AreaFloor_old = (StoreysAboveGround_V0
+ (StoreysBelowGround_V0 - 1)) * AreaGroundFloor
  else (HTFL_V1 == false)
    AreaFloor_old = ((StoreysAboveGround_V0 - 1)
+ (StoreysBelowGround_V0 - 1)) * AreaGroundFloor
  else (HTFL_V0 == false)
    AreaFloor_old = ((StoreysAboveGround_V0 - 1)
+ (StoreysBelowGround_V0 - 1)) * AreaGroundFloor
else (StoreysBelowGround <= 0)
  if HTFL_V0 == false then
    AreaFloor_old = (StoreysAboveGround_V0 - 2) * AreaGroundFloor
  else (HTFL_V0 == true)
    if HTFL_V1 == true
      AreaFloor_old = (StoreysAboveGround_V0 - 1) * AreaGroundFloor
    else (HTFL_V1 == false)
      AreaFloor_old = (StoreysAboveGround_V0 - 2) * AreaGroundFloor
```

Description:

A variable or value, which is highlighted in blue is newly defined in this scenario.

Additional comments are highlighted in green and italic.

Tabelle A. 92: Berechnungslogik Bauteilflächen Szenario 2.2, Sanierung mit Aufstockung in Holzrahmenbauweise; eigene Darstellung in englischer Sprache

The areas of each residential building of scenario 2.2, renovation with densification (2 more storeys) is calculated as follows:

If SC == 2.2.1 or if SC == 2.2.2 or if SC == 2.2.3 or if SC == 2.2.4 then

```

if RoofType_V0 > 1000 then
  AreaPitchedRoof_old = AreaPitchedRoof_V0
  AreaFlatRoof_old = 0
  AreaFlatRoof_nb = AreaFlatRoof_V1 (at this scenario all new roofs are
  flat roofs, a pitched roof doesn't exist after renovation
  (AreaPitchedRoof_V1 is 0 or RoofType_V1 is never > 1000))
else (RoofType_V0 = 1000)
  AreaPitchedRoof_old = 0
  AreaFlatRoof_old = AreaFlatRoof_V0
  AreaFlatRoof_nb = AreaFlatRoof_V1 (here: AreaFlatRoof_V0 should be
  the same as AreaFlatRoof_V1)

if BuildingType == SFH then
  AreaWindow_ren = WTWV_SFHV0 * AreaExteriorWall_total_V0
  AreaWindow_nb = WTWV_SFHV1 * (AreaExteriorWall_total_V1
  - AreaExteriorWall_total_V0)
else (BuildingType == MFH)
  AreaWindow_ren = WTWV_MFHV0 * AreaExteriorWall_total_V0
  AreaWindow_nb = WTWV_MFHV1 * (AreaExteriorWall_total_V1
  - AreaExteriorWall_total_V0)

AreaExteriorWall_ren = AreaExteriorWall_total_V0 - AreaWindow_ren

AreaExteriorWall_nb = AreaExteriorWall_total_V1
- AreaExteriorWall_total_V0 - AreaWindow_nb

AreaSharedWall_old = AreaSharedWall_V0
AreaSharedWall_nb = AreaSharedWall_V1 - AreaSharedWall_V0

if StoreysBelowGround_V0 > 0 then
  if HCFL_V1 == true then
    AreaCellarWall_ren = (AreaExteriorWall_total_V0
    / StoreysAboveGround_V0) * StoreysBelowGround_V0
    AreaCellarWall_old = 0
    AreaSharedCellarWall_ren = (AreaSharedWall_V0
    / StoreysAboveGround_V0) * StoreysBelowGround_V0
    AreaSharedCellarWall_old = 0
  else (HCFL_V1 == false)
    AreaCellarWall_ren = 0
    AreaCellarWall_old = (AreaExteriorWall_total_V0
    / StoreysAboveGround_V0) * StoreysBelowGround_V0
    AreaSharedCellarWall_ren = 0
    AreaSharedCellarWall_old = (AreaSharedWall_V0
    / StoreysAboveGround_V0) * StoreysBelowGround_V0
  else (StoreysBelowGround <= 0)
    AreaCellarWall_ren = 0
    AreaCellarWall_old = 0
    AreaSharedCellarWall_ren = 0
    AreaSharedCellarWall_old = 0

if BuildingType == SFH then

```

```

AreaInteriorWall_old = IWTEW_SFH * (AreaExteriorWall_total_V0
+ AreaSharedWall_V0 + AreaCellarWall_ren + AreaCellarWall_old
+ AreaSharedCellarWall_ren + AreaSharedCellarWall_old)
AreaInteriorWall_nb = IWTEW_SFH * (AreaExteriorWall_total_V1
- AreaExteriorWall_total_V0 + AreaSharedWall_V1 - AreaSharedWall_V0)
else (BuildingType == MFH)
AreaInteriorWall_old = IWTEW_MFH * (AreaExteriorWall_total_V0
+ AreaSharedWall_V0 + AreaCellarWall_ren + AreaCellarWall_old
+ AreaSharedCellarWall_ren + AreaSharedCellarWall_old);
AreaInteriorWall_nb = IWTEW_MFH * (AreaExteriorWall_total_V1
- AreaExteriorWall_total_V0 + AreaSharedWall_V1 - AreaSharedWall_V0)

if StoreysBelowGround_V0 > 0 then
  if HCFL_V1 == false then
    AreaBasePlate_old = AreaGroundFloor
    AreaBasePlate_ren = 0
  else (HCFL_V1 == true)
    AreaBasePlate_old = 0
    AreaBasePlate_ren = AreaGroundFloor
  else (StoreysBelowGround_V0 <= 0)
    AreaBasePlate_old = 0
    AreaBasePlate_ren = AreaGroundFloor

AreaFoundation_old = FTBP * AreaGroundFloor (only for BAC 1 to 8, afterwards
FTBP = 0)

if RoofType_V0 > 1000 then
  if HTFL_V0 == false then
    AreaTopFloor_old = AreaGroundFloor (after renovation all
    buildings get a flat roof; so, the old top floor is demolished
    and replaced by a new floor in timber construction; the upper
    floor is always heated after renovation)
  else (HTFL_V0 == true)
    AreaTopFloor_old = 0
  else (RoofType_V0 = 1000)
    AreaTopFloor_old = 0

if StoreysBelowGround_V0 > 0 then
  if HCFL_V0 == false then
    if HCFL_V1 == false then
      AreaCellarFloor_ren = AreaGroundFloor
      AreaCellarFloor_old = 0
    else (HCFL_V1 == true)
      AreaCellarFloor_ren = 0
      AreaCellarFloor_old = AreaGroundFloor
    else (HCFL_V0 == true)
      if HCFL_V1 == true then
        AreaCellarFloor_ren = 0
        AreaCellarFloor_old = 0
      else (HCFL_V1 == false)
        AreaCellarFloor_ren = AreaGroundFloor
        AreaCellarFloor_old = 0
  else (StoreysBelowGround_V0 <= 0)
    AreaCellarFloor_ren = 0
    AreaCellarFloor_old = 0

```

```

if RoofType_V0 > 1000 then (the upper floor is demolished and replaced by
a new floor in timber construction)
  AreaFloor_nb = (StoreysAboveGround_V1 - StoreysAboveGround_V0 + 1)
  * AreaGroundFloor_V0
else (RoofType_V0 = 1000; the old flat roof is demolished and replaced)
  AreaFloor_nb = (StoreysAboveGround_V1 - StoreysAboveGround_V0)
  * AreaGroundFloor_V0

if RoofType_V0 = 1000 then
  if StoreysBelowGround_V0 > 0 then
    if HCFL_V0 == false then
      AreaFloor_ren = ((StoreysAboveGround_V0 - 1)
      + (StoreysBelowGround_V0 - 1)) * AreaGroundFloor
    else (HCFL_V0 == true)
      if HCFL_V1 == true then
        AreaFloor_ren = (StoreysAboveGround_V0
        + (StoreysBelowGround_V0 - 1)) * AreaGroundFloor
      else (HCFL_V1 = false)
        AreaFloor_ren = ((StoreysAboveGround_V0 - 1)
        + (StoreysBelowGround_V0 - 1)) * AreaGroundFloor
    else (StoreysBelowGround_V0 <= 0)
      AreaFloor_ren = (StoreysAboveGround_V0 - 1) * AreaGroundFloor
else RoofType > 1000
  if StoreysBelowGround_V0 > 0 then
    if HCFL_V0 == false then
      if HTFL_V0 == false then
        AreaFloor_ren = ((StoreysAboveGround_V0 - 2)
        + (StoreysBelowGround_V0 - 1)) * AreaGroundFloor
        (all interior floors are used for further 50 years)
        AreaFloor_old = 0 (the upper floor is demolished and
replaced)
      else (HTFL_V0 == true)
        AreaFloor_ren = ((StoreysAboveGround_V0 - 2)
        + (StoreysBelowGround_V0 - 1)) * AreaGroundFloor
        AreaFloor_old = AreaGroundFloor
    else (HCFL_V0 == true)
      if HCFL_V1 == false then
        if HTFL_V0 == false then
          AreaFloor_ren = ((StoreysAboveGround_V0 - 2)
          + (StoreysBelowGround_V0 - 1)) * AreaGroundFloor
          AreaFloor_old = 0
        else (HTFL_V0 == true)
          AreaFloor_ren = ((StoreysAboveGround_V0 - 2)
          + (StoreysBelowGround_V0 - 1)) * AreaGroundFloor
          AreaFloor_old = AreaGroundFloor
      else (HCFL_V1 == true)
        if HTFL_V0 == true then
          AreaFloor_ren = ((StoreysAboveGround_V0 - 1)
          + (StoreysBelowGround_V0 - 1)) * AreaGroundFloor
          AreaFloor_old = AreaGroundFloor
        else (HTFL_V0 == false)

```

```
AreaFloor_ren = ((StoreysAboveGround_V0 - 1)
+ (StoreysBelowGround_V0 - 1)) * AreaGroundFloor
AreaFloor_old = 0
else (StoreysBelowGround_V0 <= 0)
  if HTFL_V0 == false then
    AreaFloor_ren = (StoreysAboveGround_V0 - 2) * AreaGroundFloor
    AreaFloor_old = 0
  else (HTFL_V0 == true)
    AreaFloor_ren = (StoreysAboveGround_V0 - 2) * AreaGroundFloor
    AreaFloor_old = AreaGroundFloor_V0
```

Description:

A variable or value, which is highlighted in blue is newly defined in this scenario.
Additional comments are highlighted in *green and italic*.

Tabelle A. 93: Berechnungslogik Bauteilflächen Szenario 3.1 und 3.2, Abriss und Ersatzneubau in Holz- oder Massivbauweise; eigene Darstellung in englischer Sprache

The areas of each residential building of scenario 3.1, demolition and new construction with timber construction is calculated as follows:

```

If SC == 3.1.1 or if SC == 3.1.2 or if SC == 3.1.3 or if SC == 3.1.4 then

  if RoofType_V0 > 1000 then
    AreaPitchedRoof_old = AreaPitchedRoof_V0
    AreaFlatRoof_old = 0
    AreaFlatRoof_nb = AreaFlatRoof_V1 (in these scenarios all new
    buildings get a flat roof)
  else (RoofType_V0 = 1000)
    AreaPitchedRoof_old = 0
    AreaFlatRoof_old = AreaFlatRoof_V0
    AreaFlatRoof_nb = AreaFlatRoof_V1

  if BuildingType == SFH then
    AreaWindow_old = WTWR_SFH_V0 * AreaExteriorWall_total_V0
    AreaWindow_nb = WTWR_SFH_V1 * AreaExteriorWall_total_V1
  else (BuildingType == MFH)
    AreaWindow_old = WTWR_MFH_V0 * AreaExteriorWall_total_V0
    AreaWindow_nb = WTWR_MFH_V1 * AreaExteriorWall_total_V1

  AreaExteriorWall_old = AreaExteriorWall_total_V0 - AreaWindow_old

  AreaExteriorWall_nb = AreaExteriorWall_total_V1 - AreaWindow_nb

  AreaSharedWall_old = AreaSharedWall_V0

  AreaSharedWall_nb = AreaSharedWall_V1

  if StoreysBelowGround_V0 > 0 then
    AreaCellarWall_old = (AreaExteriorWall_total_V0 / StoreysAboveGround_V0)
    * StoreysBelowGround_V0
    AreaSharedCellarWall_old = (AreaSharedWall_V0 / StoreysAboveGround_V0)
    * StoreysBelowGround_V0
  else (StoreysBelowGround_V0 <= 0)
    AreaCellarWall_old = 0
    AreaSharedCellarWall_old = 0

  if StoreysBelowGround_V0 > 0 then
    if HCFL_V0 == false then
      AreaCellarFloor_old = AreaGroundFloor
    else (HCFL_V0 == true)
      AreaCellarFloor_old = 0
  else (StoreysBelowGround_V0 <= 0)
    AreaCellarFloor_old = 0

  if StoreysBelowGround_V1 > 0 then
    if HCFL_V1 == true then
      AreaCellarWall_h_nb = (AreaExteriorWall_total_V1 / StoreysAboveGround_V1)
      * StoreysBelowGround_V1
      AreaCellarWall_uh_nb = 0
      AreaSharedCellarWall_h_nb = (AreaSharedWall_V1 / StoreysAboveGround_V1)
      * StoreysBelowGround_V1
      AreaSharedCellarWall_uh_nb = 0
      AreaCellarFloor_nb = 0

```

```

else (HCFL_V1 == false)
    AreaCellarWall_h_nb = 0
    AreaCellarWall_uh_nb = (AreaExteriorWall_total_V1 / StoreysAboveGround_V1)
    * StoreysBelowGround_V1
    AreaSharedCellarWall_h_nb = 0
    AreaSharedCellarWall_uh_nb = (AreaSharedWall_V1 / StoreysAboveGround_V1)
    * StoreysBelowGround_V1
    AreaCellarFloor_nb = AreaGroundFloor
else (StoreysBelowGround_V1 <= 0)
    AreaCellarWall_h_nb = 0
    AreaCellarWall_uh_nb = 0
    AreaSharedCellarWall_h_nb = 0
    AreaSharedCellarWall_uh_nb = 0
    AreaCellarFloor_nb = 0

if BuildingType == SFH then
    AreaInteriorWall_old = IWTEW_SFH * (AreaExteriorWall_total_V0
    + AreaSharedWall_V0 + AreaCellarWall_old + AreaSharedCellarWall_old)
    AreaInteriorWall_nb = IWTEW_SFH * (AreaExteriorWall_total_V1
    + AreaSharedWall_V1 + AreaCellarWall_h_nb + AreaCellarWall_uh_nb
    + AreaSharedCellarWall_h_nb + AreaSharedCellarWall_uh_nb)
else (BuildingType == MFH)
    AreaInteriorWall_old = IWTEW_MFH * (AreaExteriorWall_total_V0
    + AreaSharedWall_V0 + AreaCellarWall_old + AreaSharedCellarWall_old)
    AreaInteriorWall_nb = IWTEW_MFH * (AreaExteriorWall_total_V1
    + AreaSharedWall_V1 + AreaCellarWall_h_nb + AreaCellarWall_uh_nb
    + AreaSharedCellarWall_h_nb + AreaSharedCellarWall_uh_nb)

AreaFoundation_old = FTBP * AreaGroundFloor (only for BAC 1 to 8, afterwards
FTBP = 0)

if RoofType_V0 > 1000 then
    if HTFL_V0 == false then
        AreaTopFloor_old = AreaGroundFloor
    else (HTFL_V0 == true)
        AreaTopFloor_old = 0
else (RoofType_V0 = 1000)
    AreaTopFloor_old = 0

if RoofType_V0 = 1000 then
    if StoreysBelowGround_V0 > 0 then
        if HCFL_V0 == true then
            AreaFloor_old = (StoreysAboveGround_V0 + (StoreysBelowGround_V0 - 1))
            * AreaGroundFloor
        else (HCFL_V0 == false)
            AreaFloor_old = ((StoreysAboveGround_V0 - 1)
            + (StoreysBelowGround_V0 - 1)) * AreaGroundFloor
        else (StoreysBelowGround_V0 = 0)
            AreaFloor_old = (StoreysAboveGround_V0 - 1) * AreaGroundFloor
    else (RoofType_V0 > 1000)
        if StoreysBelowGround_V0 > 0 then
            if HCFL_V0 == true then
                if HTFL_V0 == true then
                    AreaFloor_old = (StoreysAboveGround_V0
                    + (StoreysBelowGround_V0 - 1)) * AreaGroundFloor
                else (HTFL_V0 == false)
                    AreaFloor_old = ((StoreysAboveGround_V0 - 1)
                    + (StoreysBelowGround_V0 - 1)) * AreaGroundFloor

```

```

else (HCFL_V0 == false)
  if HTFL_V0 == true then
    AreaFloor_old = ((StoreysAboveGround_V0 - 1)
+ (StoreysBelowGround_V0 - 1)) * AreaGroundFloor
  else (HTFL_V0 == false)
    AreaFloor_old = ((StoreysAboveGround_V0 - 2)
+ (StoreysBelowGround_V0 - 1)) * AreaGroundFloor
else (StoreysBelowGround_V0 <= 0)
  if HTFL_V0 == true then
    AreaFloor_old = (StoreysAboveGround_V0 - 1) * AreaGroundFloor
  else (HTFL_V0 == false)
    AreaFloor_old = (StoreysAboveGround_V0 - 2) * AreaGroundFloor

if StoreysBelowGround_V1 > 0 then (as AreaPitchedRoof_V1 doesn't
exist, you don't need a distinction of RoofType_V1 > 1000 and
RoofType = 1000 here)
  if HCFL_V1 == true then
    AreaFloor_nb = (StoreysAboveGround_V1 + (StoreysBelowGround_V1 - 1))
* AreaGroundFloor
    AreaBasePlate_h_nb = AreaGroundFloor
    AreaBasePlate_uh_nb = 0
  else (HCFL_V1 == false)
    AreaFloor_nb = ((StoreysAboveGround_V1 - 1) + (StoreysBelowGround_V1 - 1))
* AreaGroundFloor
    AreaBasePlate_h_nb = 0
    AreaBasePlate_uh_nb = AreaGroundFloor
else (StoreysBelowGround_V1 <= 0)
  AreaFloor_nb = (StoreysAboveGround_V1 - 1) * AreaGroundFloor
  AreaBasePlate_h_nb = AreaGroundFloor
  AreaBasePlate_uh_nb = 0

```

Description:

A variable or value, which is highlighted in blue is newly defined in these scenarios.
Additional comments are highlighted in green and italic.

A.10 Berechnungslogiken der ökologischen Kennwerte für die LCA auf Quartiersebene

Im Anschluss an die Bestimmung der einzelnen Bauteilflächen je Szenario (siehe Anhang A.9 ab Seite 469) kann die Ökobilanzierung auf Quartiersebene durchgeführt werden. Die folgenden Tabellen zeigen die szenarienspezifischen Berechnungsschritte auf. Damit die Logiken von den Programmierenden international besser verstanden werden können, werden sie in englischer Sprache und mit der Clear-Type-Schriftart Consolas wiedergegeben.

Tabelle A. 94: Logik der Kennwertberechnung Szenario 1, Status Quo; eigene Darstellung in englischer Sprache

After the determination of the building construction areas, the environmental values of every building construction of each residential building can be calculated. The next lines show the calculation of the GWP of scenario 1.1 to 1.4 for buildings in building age class 1. The other building age classes as well as PET and PENRT aren't shown in detail, but they are calculated in the same way.

If SC == 1.1 or if SC == 1.2 or if SC == 1.3 or if SC == 1.4 and
if BAC == BAC1 then

```
PRO_old_gwp_1_1 = AreaPitchedRoof_old * (PRO_old_1_A1A3_min_gwp
+ PRO_old_1_B4_min_gwp + PRO_old_1_C3_min_gwp + PRO_old_1_C4_min_gwp)
(For PET in BAC3: PRO_old_pet_1_1 = AreaPitchedRoof_old
* (PRO_old_3_A1A3_min_pet + PRO_old_3_B4_min_pet + PRO_old_3_C3_min_pet
+ PRO_old_3_C4_min_pet);
for PENRT: PRO_old_penrt_1_1 = AreaPitchedRoof_old
* (PRO_old_3_A1A3_min_penrt + PRO_old_3_B4_min_penrt
+ PRO_old_3_C3_min_penrt + PRO_old_3_C4_min_penrt) etc.)
```

```
PRO_old_gwp_1_2 = AreaPitchedRoof_old * (PRO_old_1_A1A3_max_gwp
+ PRO_old_1_B4_max_gwp + PRO_old_1_C3_max_gwp
+ PRO_old_1_C4_max_gwp)
```

```
PRO_old_gwp_1_3 = AreaPitchedRoof_old * (PRO_old_1_A1A3_min_gwp
+ PRO_old_1_B4_min_gwp + PRO_old_1_C3_min_gwp + PRO_old_1_C4_min_gwp
+ PRO_old_1_D_min_gwp + PRO_old_1_DofB4_min_gwp)
```

```
PRO_old_gwp_1_4 = AreaPitchedRoof_old * (PRO_old_1_A1A3_max_gwp
+ PRO_old_1_B4_max_gwp + PRO_old_1_C3_max_gwp + PRO_old_1_C4_max_gwp
+ PRO_old_1_D_max_gwp + PRO_old_1_DofB4_max_gwp)
```

```
FRO_old_gwp_1_1 = AreaFlatRoof_old * (FRO_old_1_A1A3_min_gwp
+ FRO_old_1_B4_min_gwp + FRO_old_1_C3_min_gwp + FRO_old_1_C4_min_gwp)
```

```
FRO_old_gwp_1_2 = AreaFlatRoof_old * (FRO_old_1_A1A3_max_gwp
+ FRO_old_1_B4_max_gwp + FRO_old_1_C3_max_gwp + FRO_old_1_C4_max_gwp)
```

```
FRO_old_gwp_1_3 = AreaFlatRoof_old * (FRO_old_1_A1A3_min_gwp
+ FRO_old_1_B4_min_gwp + FRO_old_1_C3_min_gwp + FRO_old_1_C4_min_gwp
+ FRO_old_1_D4_min_gwp + FRO_old_1_DofB4_min_gwp)
```

```
FRO_old_gwp_1_4 = AreaFlatRoof_old * (FRO_old_1_A1A3_max_gwp
+ FRO_old_1_B4_max_gwp + FRO_old_1_C3_max_gwp + FRO_old_1_C4_max_gwp +
FRO_old_1_D4_max_gwp + FRO_old_1_DofB4_max_gwp)
```

(Here, you could differentiate between FROmas and FROwood if it's necessary. But you must check, if every relevant building age class has a value.)

$$\begin{aligned} EW_old_gwp_1_1 &= AreaExteriorWall_old * (EW_old_1_A1A3_min_gwp \\ &+ EW_old_1_B4_min_gwp + EW_old_1_C3_min_gwp + EW_old_1_C4_min_gwp) \\ EW_old_gwp_1_2 &= AreaExteriorWall_old * (EW_old_1_A1A3_max_gwp \\ &+ EW_old_1_B4_max_gwp + EW_old_1_C3_max_gwp + EW_old_1_C4_max_gwp) \\ EW_old_gwp_1_3 &= AreaExteriorWall_old * (EW_old_1_A1A3_min_gwp \\ &+ EW_old_1_B4_min_gwp + EW_old_1_C3_min_gwp + EW_old_1_C4_min_gwp \\ &+ EW_old_1_D_min_gwp + EW_old_1_DofB4_min_gwp) \\ EW_old_gwp_1_4 &= AreaExteriorWall_old * (EW_old_1_A1A3_max_gwp \\ &+ EW_old_1_B4_max_gwp + EW_old_1_C3_max_gwp + EW_old_1_C4_max_gwp \\ &+ EW_old_1_D_max_gwp + EW_old_1_DofB4_max_gwp) \end{aligned}$$

(Here, you could differentiate between EWmas, EW2shelled, EWcwf and EWwood if it's necessary. But you must check, if every relevant building age class has a value.)

$$\begin{aligned} SW_old_gwp_1_1 &= AreaSharedWall_old * (SW_old_1_A1A3_min_gwp \\ &+ SW_old_1_B4_min_gwp + SW_old_1_C3_min_gwp + SW_old_1_C4_min_gwp) \\ SW_old_gwp_1_2 &= AreaSharedWall_old * (SW_old_1_A1A3_max_gwp \\ &+ SW_old_1_B4_max_gwp + SW_old_1_C3_max_gwp + SW_old_1_C4_max_gwp) \\ SW_old_gwp_1_3 &= AreaSharedWall_old * (SW_old_1_A1A3_min_gwp \\ &+ SW_old_1_B4_min_gwp + SW_old_1_C3_min_gwp + SW_old_1_C4_min_gwp \\ &+ SW_old_1_D_min_gwp + SW_old_1_DofB4_min_gwp) \\ SW_old_gwp_1_4 &= AreaSharedWall_old * (SW_old_1_A1A3_max_gwp \\ &+ SW_old_1_B4_max_gwp + SW_old_1_C3_max_gwp + SW_old_1_C4_max_gwp \\ &+ SW_old_1_D_max_gwp + SW_old_1_DofB4_max_gwp) \end{aligned}$$

(Here, you could differentiate between SWmas, SW2shelled, SWcwf and SWwood if it's necessary. But you must check, if every relevant building age class has a value.)

$$\begin{aligned} IW_old_gwp_1_1 &= AreaInteriorWall_old * (IW_old_1_A1A3_min_gwp \\ &+ IW_old_1_B4_min_gwp + IW_old_1_C3_min_gwp + IW_old_1_C4_min_gwp) \\ IW_old_gwp_1_2 &= AreaInteriorWall_old * (IW_old_1_A1A3_max_gwp \\ &+ IW_old_1_B4_max_gwp + IW_old_1_C3_max_gwp + IW_old_1_C4_max_gwp) \\ IW_old_gwp_1_3 &= AreaInteriorWall_old * (IW_old_1_A1A3_min_gwp \\ &+ IW_old_1_B4_min_gwp + IW_old_1_C3_min_gwp + IW_old_1_C4_min_gwp \\ &+ IW_old_1_D_min_gwp + IW_old_1_DofB4_min_gwp) \\ IW_old_gwp_1_4 &= AreaInteriorWall_old * (IW_old_1_A1A3_max_gwp \\ &+ IW_old_1_B4_max_gwp + IW_old_1_C3_max_gwp + IW_old_1_C4_max_gwp \\ &+ IW_old_1_D_max_gwp + IW_old_1_DofB4_max_gwp) \end{aligned}$$

(Here, you could differentiate between IWmas and IWwood if it's necessary. But you must check, if every relevant building age class has a value.)

$$\begin{aligned} CW_old_gwp_1_1 &= AreaCellarWall_old * (CW_old_1_A1A3_min_gwp \\ &+ CW_old_1_B4_min_gwp + CW_old_1_C3_min_gwp + CW_old_1_C4_min_gwp) \\ CW_old_gwp_1_2 &= AreaCellarWall_old * (CW_old_1_A1A3_max_gwp \\ &+ CW_old_1_B4_max_gwp + CW_old_1_C3_max_gwp + CW_old_1_C4_max_gwp) \end{aligned}$$

$CW_old_gwp_1_3 = AreaCellarWall_old * (CW_old_1_A1A3_min_gwp$
 $+ CW_old_1_B4_min_gwp + CW_old_1_C3_min_gwp + CW_old_1_C4_min_gwp$
 $+ CW_old_1_D_min_gwp + CW_old_1_DofB4_min_gwp)$

$CW_old_gwp_1_4 = AreaCellarWall_old * (CW_old_1_A1A3_max_gwp$
 $+ CW_old_1_B4_max_gwp + CW_old_1_C3_max_gwp + CW_old_1_C4_max_gwp$
 $+ CW_old_1_D_max_gwp + CW_old_1_DofB4_max_gwp)$

$SCW_old_gwp_1_1 = AreaSharedCellarWall_old * (SCW_old_1_A1A3_min_gwp$
 $+ SCW_old_1_B4_min_gwp + SCW_old_1_C3_min_gwp + SCW_old_1_C4_min_gwp)$

$SCW_old_gwp_1_2 = AreaSharedCellarWall_old * (SCW_old_1_A1A3_max_gwp$
 $+ SCW_old_1_B4_max_gwp + SCW_old_1_C3_max_gwp + SCW_old_1_C4_max_gwp)$

$SCW_old_gwp_1_3 = AreaSharedCellarWall_old * (SCW_old_1_A1A3_min_gwp$
 $+ SCW_old_1_B4_min_gwp + SCW_old_1_C3_min_gwp + SCW_old_1_C4_min_gwp$
 $+ SCW_old_1_D_min_gwp + SCW_old_1_DofB4_min_gwp)$

$SCW_old_gwp_1_4 = AreaSharedCellarWall_old * (SCW_old_1_A1A3_max_gwp$
 $+ SCW_old_1_B4_max_gwp + SCW_old_1_C3_max_gwp + SCW_old_1_C4_max_gwp$
 $+ CW_old_1_D_max_gwp + CW_old_1_DofB4_max_gwp)$

$FL_old_gwp_1_1 = AreaFloor_old * (FL_old_1_A1A3_min_gwp$
 $+ FL_old_1_B4_min_gwp + FL_old_1_C3_min_gwp + FL_old_1_C4_min_gwp)$

$FL_old_gwp_1_2 = AreaFloor_old * (FL_old_1_A1A3_max_gwp$
 $+ FL_old_1_B4_max_gwp + FL_old_1_C3_max_gwp + FL_old_1_C4_max_gwp)$

$FL_gwp_1_3 = AreaFloor_old * (FL_old_1_A1A3_min_gwp + FL_old_1_B4_min_gwp$
 $+ FL_old_1_C3_min_gwp + FL_old_1_C4_min_gwp + FL_old_1_D_min_gwp$
 $+ FL_old_1_DofB4_min_gwp)$

$FL_old_gwp_1_4 = AreaFloor_old * (FL_old_1_A1A3_max_gwp$
 $+ FL_old_1_B4_max_gwp + FL_old_1_C3_max_gwp + FL_old_1_C4_max_gwp$
 $+ FL_old_1_D_max_gwp + FL_old_1_DofB4_max_gwp)$

(Here, you could differentiate between FLmas and FLwood if it's necessary. But you must check, if that every relevant building age class has a value.)

$TFL_old_gwp_1_1 = AreaTopFloor_old * (TFL_old_1_A1A3_min_gwp$
 $+ TFL_old_1_B4_min_gwp + TFL_old_1_C3_min_gwp + TFL_old_1_C4_min_gwp)$

$TFL_old_gwp_1_2 = AreaTopFloor_old * (TFL_old_1_A1A3_max_gwp$
 $+ TFL_old_1_B4_max_gwp + TFL_old_1_C3_max_gwp + TFL_old_1_C4_max_gwp)$

$TFL_old_gwp_1_3 = AreaTopFloor_old * (TFL_old_1_A1A3_min_gwp$
 $+ TFL_old_1_B4_min_gwp + TFL_old_1_C3_min_gwp + TFL_old_1_C4_min_gwp$
 $+ TFL_old_1_D_min_gwp + TFL_old_1_DofB4_min_gwp)$

$TFL_old_gwp_1_4 = AreaTopFloor_old * (TFL_old_1_A1A3_max_gwp$
 $+ TFL_old_1_B4_max_gwp + TFL_old_1_C3_max_gwp + TFL_old_1_C4_max_gwp$
 $+ TFL_old_1_D_max_gwp + TFL_old_1_DofB4_max_gwp)$

(Here, you could differentiate between TFLmas and TFLwood if it's necessary. But you must check, if every relevant building age class has a value.)

$CFL_old_gwp_1_1 = AreaCellarFloor_old * (CFL_old_1_A1A3_min_gwp$
 $+ CFL_old_1_B4_min_gwp + CFL_old_1_C3_min_gwp + CFL_old_1_C4_min_gwp)$

$CFL_old_gwp_1_2 = AreaCellarFloor_old * (CFL_old_1_A1A3_max_gwp$
 $+ CFL_old_1_B4_max_gwp + CFL_old_1_C3_max_gwp + CFL_old_1_C4_max_gwp)$

$$\begin{aligned} \text{CFL_old_gwp_1_3} &= \text{AreaCellarFloor_old} * (\text{CFL_old_1_A1A3_min_gwp} \\ &+ \text{CFL_old_1_B4_min_gwp} + \text{CFL_old_1_C3_min_gwp} + \text{CFL_old_1_C4_min_gwp} \\ &+ \text{CFL_old_1_D_min_gwp} + \text{CFL_old_1_DofB4_min_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CFL_old_gwp_1_4} &= \text{AreaCellarFloor_old} * (\text{CFL_old_1_A1A3_max_gwp} \\ &+ \text{CFL_old_1_B4_max_gwp} + \text{CFL_old_1_C3_max_gwp} + \text{CFL_old_1_C4_max_gwp} \\ &+ \text{CFL_old_1_D_max_gwp} + \text{CFL_old_1_DofB4_max_gwp}) \end{aligned}$$

(Here, you could differentiate between CFLmas and CFLwood if it's necessary. But you must check, if every relevant building age class has a value.)

$$\begin{aligned} \text{BP_old_gwp_1_1} &= \text{AreaBasePlate_old} * (\text{BP_old_1_A1A3_min_gwp} \\ &+ \text{BP_old_1_B4_min_gwp} + \text{BP_old_1_C3_min_gwp} + \text{BP_old_1_C4_min_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BP_old_gwp_1_2} &= \text{AreaBasePlate_old} * (\text{BP_old_1_A1A3_max_gwp} \\ &+ \text{BP_old_1_B4_max_gwp} + \text{BP_old_1_C3_max_gwp} + \text{BP_old_1_C4_max_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BP_old_gwp_1_3} &= \text{AreaBasePlate_old} * (\text{BP_old_1_A1A3_min_gwp} \\ &+ \text{BP_old_1_B4_min_gwp} + \text{BP_old_1_C3_min_gwp} + \text{BP_old_1_C4_min_gwp} \\ &+ \text{BP_old_1_D_min_gwp} + \text{BP_old_1_DofB4_min_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BP_old_gwp_1_4} &= \text{AreaBasePlate_old} * (\text{BP_old_1_A1A3_max_gwp} \\ &+ \text{BP_old_1_B4_max_gwp} + \text{BP_old_1_C3_max_gwp} + \text{BP_old_1_C4_max_gwp} \\ &+ \text{BP_old_1_D_max_gwp} + \text{BP_old_1_DofB4_max_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{F_old_gwp_1_1} &= \text{AreaFoundation_old} * (\text{F_old_1_A1A3_min_gwp} \\ &+ \text{F_old_1_B4_min_gwp} + \text{F_old_1_C3_min_gwp} + \text{F_old_1_C4_min_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{F_old_gwp_1_2} &= \text{AreaFoundation_old} * (\text{F_old_1_A1A3_max_gwp} \\ &+ \text{F_old_1_B4_max_gwp} + \text{F_old_1_C3_max_gwp} + \text{F_old_1_C4_max_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{F_old_gwp_1_3} &= \text{AreaFoundation_old} * (\text{F_old_1_A1A3_min_gwp} \\ &+ \text{F_old_1_B4_min_gwp} + \text{F_old_1_C3_min_gwp} + \text{F_old_1_C4_min_gwp} \\ &+ \text{F_old_1_D_min_gwp} + \text{F_old_1_DofB4_min_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{F_old_gwp_1_4} &= \text{AreaFoundation_old} * (\text{F_old_1_A1A3_max_gwp} \\ &+ \text{F_old_1_B4_max_gwp} + \text{F_old_1_C3_max_gwp} + \text{F_old_1_C4_max_gwp} \\ &+ \text{F_old_1_D_max_gwp} + \text{F_old_1_DofB4_max_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{W_old_gwp_1_1} &= \text{AreaWindow_old} * (\text{W_old_1_A1A3_min_gwp} \\ &+ \text{W_old_1_B4_min_gwp} + \text{W_old_1_C3_min_gwp} + \text{W_old_1_C4_min_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{W_old_gwp_1_2} &= \text{AreaWindow_old} * (\text{W_old_1_A1A3_max_gwp} \\ &+ \text{W_old_1_B4_max_gwp} + \text{W_old_1_C3_max_gwp} + \text{W_old_1_C4_max_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{W_old_gwp_1_3} &= \text{AreaWindow_old} * (\text{W_old_1_A1A3_min_gwp} \\ &+ \text{W_old_1_B4_min_gwp} + \text{W_old_1_C3_min_gwp} + \text{W_old_1_C4_min_gwp} \\ &+ \text{W_old_1_D_min_gwp} + \text{W_old_1_DofB4_min_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{W_old_gwp_1_4} &= \text{AreaWindow_old} * (\text{W_old_1_A1A3_max_gwp} \\ &+ \text{W_old_1_B4_max_gwp} + \text{W_old_1_C3_max_gwp} + \text{W_old_1_C4_max_gwp} \\ &+ \text{W_old_1_D_max_gwp} + \text{W_old_1_DofB4_max_gwp}) \end{aligned}$$

(Here, you could differentiate between Walu, Wwood and Wplas if it's necessary. But you must check, if every relevant building age class has a value.)

Description:

A variable or value, which is highlighted in **blue** is newly defined in this scenario. Additional comments are highlighted in *green and italic*.

Tabelle A. 95: Logik der Kennwertberechnung Szenario 2.1, Sanierung mit gleichbleibender Gebäudekubatur; eigene Darstellung in englischer Sprache

After the determination of the building construction areas, the environmental values of every building construction of each residential building can be calculated. The next lines show the calculation of the GWP of scenario 2.1.1 to 2.1.4 for buildings in building age class 1. The other building age classes as well as PET and PENRT aren't shown in detail, but they are calculated in the same way.

If SC == 1.1 or if SC == 1.2 or if SC == 1.3 or if SC == 1.4 and
if BAC == BAC1 then

```

PRO_old_gwp_2_1_1 = AreaPitchedRoof_old * (PRO_old_1_B4_min_gwp
+ PRO_old_1_C3_min_gwp + PRO_old_1_C4_min_gwp)
(For PET in BAC3: PRO_old_pet_2_1_1 = AreaPitchedRoof_old
* (PRO_old_3_B4_min_pet + PRO_old_3_C3_min_pet + PRO_old_3_C4_min_pet);
for PENRT: PRO_old_penrt_2_1_1 = AreaPitchedRoof_old
* (PRO_old_3_B4_min_penrt + PRO_old_3_C3_min_penrt + PRO_old_3_C4_min_penrt) etc.)
PRO_old_gwp_2_1_2 = AreaPitchedRoof_old * (PRO_old_1_B4_max_gwp
+ PRO_old_1_C3_max_gwp + PRO_old_1_C4_max_gwp)
PRO_old_gwp_2_1_3 = AreaPitchedRoof_old * (PRO_old_1_B4_min_gwp
+ PRO_old_1_C3_min_gwp + PRO_old_1_C4_min_gwp + PRO_old_1_D_min_gwp
+ PRO_old_1_DofB4_min_gwp)
PRO_old_gwp_2_1_4 = AreaPitchedRoof_old * (PRO_old_1_B4_max_gwp
+ PRO_old_1_C3_max_gwp + PRO_old_1_C4_max_gwp + PRO_old_1_D_max_gwp
+ PRO_old_1_DofB4_max_gwp)

PRO_ren_gwp_2_1_1 = AreaPitchedRoof_ren * (PRO_h_ren_1_A1A3_min_gwp
+ PRO_h_ren_1_B4_min_gwp + PRO_h_ren_1_C3_min_gwp + PRO_h_ren_1_C4_min_gwp)
PRO_ren_gwp_2_1_2 = AreaPitchedRoof_ren * (PRO_h_ren_1_A1A3_max_gwp
+ PRO_h_ren_1_B4_max_gwp + PRO_h_ren_1_C3_max_gwp + PRO_h_ren_1_C4_max_gwp)
PRO_ren_gwp_2_1_3 = AreaPitchedRoof_ren * (PRO_h_ren_1_A1A3_min_gwp
+ PRO_h_ren_1_B4_min_gwp + PRO_h_ren_1_C3_min_gwp
+ PRO_h_ren_1_C4_min_gwp + PRO_h_ren_1_D_min_gwp + PRO_h_ren_1_DofB4_min_gwp)
PRO_ren_gwp_2_1_4 = AreaPitchedRoof_ren * (PRO_h_ren_1_A1A3_max_gwp
+ PRO_h_ren_1_B4_max_gwp + PRO_h_ren_1_C3_max_gwp + PRO_h_ren_1_C4_max_gwp
+ PRO_h_ren_1_D_max_gwp + PRO_h_ren_1_DofB4_max_gwp)

FRO_ren_gwp_2_1_1 = AreaFlatRoof_ren * (FRO_ren_1_A1A3_min_gwp
+ FRO_ren_1_B4_min_gwp + FRO_ren_1_C3_min_gwp + FRO_ren_1_C4_min_gwp)
FRO_ren_gwp_2_1_2 = AreaFlatRoof_ren * (FRO_ren_1_A1A3_max_gwp
+ FRO_ren_1_B4_max_gwp + FRO_ren_1_C3_max_gwp + FRO_ren_1_C4_max_gwp)
FRO_ren_gwp_2_1_3 = AreaFlatRoof_ren * (FRO_ren_1_A1A3_min_gwp
+ FRO_ren_1_B4_min_gwp + FRO_ren_1_C3_min_gwp + FRO_ren_1_C4_min_gwp
+ FRO_ren_1_D_min_gwp + FRO_ren_1_DofB4_min_gwp)
FRO_ren_gwp_2_1_4 = AreaFlatRoof_ren * (FRO_ren_1_A1A3_max_gwp
+ FRO_ren_1_B4_max_gwp + FRO_ren_1_C3_max_gwp + FRO_ren_1_C4_max_gwp
+ FRO_ren_1_D_max_gwp + FRO_ren_1_DofB4_max_gwp)
(Here, you could differentiate between FROmas_ren and FROwood_ren if it's
necessary. But you must check, if every relevant building age class has a
value.)

```

$EW_ren_gwp_2_1_1 = AreaExteriorWall_ren * (EW_ren_1_A1A3_min_gwp + EW_ren_1_B4_min_gwp + EW_ren_1_C3_min_gwp + EW_ren_1_C4_min_gwp)$

$EW_ren_gwp_2_1_2 = AreaExteriorWall_ren * (EW_ren_1_A1A3_max_gwp + EW_ren_1_B4_max_gwp + EW_ren_1_C3_max_gwp + EW_ren_1_C4_max_gwp)$

$EW_ren_gwp_2_1_3 = AreaExteriorWall_ren * (EW_ren_1_A1A3_min_gwp + EW_ren_1_B4_min_gwp + EW_ren_1_C3_min_gwp + EW_ren_1_C4_min_gwp + EW_ren_1_D_min_gwp + EW_ren_1_DofB4_min_gwp)$

$EW_ren_gwp_2_1_4 = AreaExteriorWall_ren * (EW_ren_1_A1A3_max_gwp + EW_ren_1_B4_max_gwp + EW_ren_1_C3_max_gwp + EW_ren_1_C4_max_gwp + EW_ren_1_D_max_gwp + EW_ren_1_DofB4_max_gwp)$

(Here, you could differentiate between $EWmas_ren$, $EW2shelled_ren$, $EWcwf_ren$ and $EWwood_ren$ if it's necessary. But you must check, if every relevant building age class has a value.)

$SW_old_gwp_2_1_1 = AreaSharedWall_old * (SW_old_1_B4_min_gwp + SW_old_1_C3_min_gwp + SW_old_1_C4_min_gwp)$

$SW_old_gwp_2_1_2 = AreaSharedWall_old * (SW_old_1_B4_max_gwp + SW_old_1_C3_max_gwp + SW_old_1_C4_max_gwp)$

$SW_old_gwp_2_1_3 = AreaSharedWall_old * (SW_old_1_B4_min_gwp + SW_old_1_C3_min_gwp + SW_old_1_C4_min_gwp + SW_old_1_D_min_gwp + SW_old_1_DofB4_min_gwp)$

$SW_old_gwp_2_1_4 = AreaSharedWall_old * (SW_old_1_B4_max_gwp + SW_old_1_C3_max_gwp + SW_old_1_C4_max_gwp + SW_old_1_D_max_gwp + SW_old_1_DofB4_max_gwp)$

(Here, you could differentiate between $Swmas_old$, $Sw2shelled_old$, $Swcwf_old$ and $Swwood_old$ if it's necessary. But you must check, if every relevant building age class has a value.)

$IW_old_gwp_2_1_1 = AreaInteriorWall_old * (IW_old_1_B4_min_gwp + IW_old_1_C3_min_gwp + IW_old_1_C4_min_gwp)$

$IW_old_gwp_2_1_2 = AreaInteriorWall_old * (IW_old_1_B4_max_gwp + IW_old_1_C3_max_gwp + IW_old_1_C4_max_gwp)$

$IW_old_gwp_2_1_3 = AreaInteriorWall_old * (IW_old_1_B4_min_gwp + IW_old_1_C3_min_gwp + IW_old_1_C4_min_gwp + IW_old_1_D_min_gwp + IW_old_1_DofB4_min_gwp)$

$IW_old_gwp_2_1_4 = AreaInteriorWall_old * (IW_old_1_B4_max_gwp + IW_old_1_C3_max_gwp + IW_old_1_C4_max_gwp + IW_old_1_D_max_gwp + IW_old_1_DofB4_max_gwp)$

(Here, you could differentiate between $IWmas_old$ and $IWwood_old$ if it's necessary. But you must check, if every relevant building age class has a value.)

$CW_old_gwp_2_1_1 = AreaCellarWall_old * (CW_old_1_B4_min_gwp + CW_old_1_C3_min_gwp + CW_old_1_C4_min_gwp)$

$CW_old_gwp_2_1_2 = AreaCellarWall_old * (CW_old_1_B4_max_gwp + CW_old_1_C3_max_gwp + CW_old_1_C4_max_gwp)$

$CW_old_gwp_2_1_3 = AreaCellarWall_old * (CW_old_1_B4_min_gwp + CW_old_1_C3_min_gwp + CW_old_1_C4_min_gwp + CW_old_1_D_min_gwp + CW_old_1_DofB4_min_gwp)$

$CW_old_gwp_2_1_4 = AreaCellarWall_old * (CW_old_1_B4_max_gwp + CW_old_1_C3_max_gwp + CW_old_1_C4_max_gwp + CW_old_1_D_max_gwp + CW_old_1_DofB4_max_gwp)$

$CW_ren_gwp_2_1_1 = AreaCellarWall_ren * (CW_h_ren_1_A1A3_min_gwp + CW_h_ren_1_B4_min_gwp + CW_h_ren_1_C3_min_gwp + CW_h_ren_1_C4_min_gwp)$

$CW_ren_gwp_2_1_2 = AreaCellarWall_ren * (CW_h_ren_1_A1A3_max_gwp + CW_h_ren_1_B4_max_gwp + CW_h_ren_1_C3_max_gwp + CW_h_ren_1_C4_max_gwp)$

$CW_ren_gwp_2_1_3 = AreaCellarWall_ren * (CW_h_ren_1_A1A3_min_gwp + CW_h_ren_1_B4_min_gwp + CW_h_ren_1_C3_min_gwp + CW_h_ren_1_C4_min_gwp + CW_h_ren_1_D_min_gwp + CW_h_ren_1_DofB4_min_gwp)$

$CW_ren_gwp_2_1_4 = AreaCellarWall_ren * (CW_h_ren_1_A1A3_max_gwp + CW_h_ren_1_B4_max_gwp + CW_h_ren_1_C3_max_gwp + CW_h_ren_1_C4_max_gwp + CW_h_ren_1_D_max_gwp + CW_h_ren_1_DofB4_max_gwp)$

$SCW_old_gwp_2_1_1 = AreaSharedCellarWall_old * (SCW_old_1_B4_min_gwp + SCW_old_1_C3_min_gwp + SCW_old_1_C4_min_gwp)$

$SCW_old_gwp_2_1_2 = AreaSharedCellarWall_old * (SCW_old_1_B4_max_gwp + SCW_old_1_C3_max_gwp + SCW_old_1_C4_max_gwp)$

$SCW_old_gwp_2_1_3 = AreaSharedCellarWall_old * (SCW_old_1_B4_min_gwp + SCW_old_1_C3_min_gwp + SCW_old_1_C4_min_gwp + SCW_old_1_D_min_gwp + SCW_old_1_DofB4_min_gwp)$

$SCW_old_gwp_2_1_4 = AreaSharedCellarWall_old * (SCW_old_1_B4_max_gwp + SCW_old_1_C3_max_gwp + SCW_old_1_C4_max_gwp + SCW_old_1_D_max_gwp + SCW_old_1_DofB4_max_gwp)$

$SCW_ren_gwp_2_1_1 = AreaSharedCellarWall_ren * (SCW_h_ren_1_A1A3_min_gwp + SCW_h_ren_1_B4_min_gwp + SCW_h_ren_1_C3_min_gwp + SCW_h_ren_1_C4_min_gwp)$

$SCW_ren_gwp_2_1_2 = AreaSharedCellarWall_ren * (SCW_h_ren_1_A1A3_max_gwp + SCW_h_ren_1_B4_max_gwp + SCW_h_ren_1_C3_max_gwp + SCW_h_ren_1_C4_max_gwp)$

$SCW_ren_gwp_2_1_3 = AreaSharedCellarWall_ren * (SCW_h_ren_1_A1A3_min_gwp + SCW_h_ren_1_B4_min_gwp + SCW_h_ren_1_C3_min_gwp + SCW_h_ren_1_C4_min_gwp + SCW_h_ren_1_D_min_gwp + SCW_h_ren_1_DofB4_min_gwp)$

$SCW_ren_gwp_2_1_4 = AreaSharedCellarWall_ren * (SCW_h_ren_1_A1A3_max_gwp + SCW_h_ren_1_B4_max_gwp + SCW_h_ren_1_C3_max_gwp + SCW_h_ren_1_C4_max_gwp + SCW_h_ren_1_D_max_gwp + SCW_h_ren_1_DofB4_max_gwp)$

$FL_old_gwp_2_1_1 = AreaFloor_old * (FL_old_1_B4_min_gwp + FL_old_1_C3_min_gwp + FL_old_1_C4_min_gwp)$

$FL_old_gwp_2_1_2 = AreaFloor_old * (FL_old_1_B4_max_gwp + FL_old_1_C3_max_gwp + FL_old_1_C4_max_gwp)$

$FL_old_gwp_2_1_3 = AreaFloor_old * (FL_old_1_B4_min_gwp + FL_old_1_C3_min_gwp + FL_old_1_C4_min_gwp + FL_old_1_D_min_gwp + FL_old_1_DofB4_min_gwp)$

$FL_old_gwp_2_1_4 = AreaFloor_old * (FL_old_1_B4_max_gwp + FL_old_1_C3_max_gwp + FL_old_1_C4_max_gwp + FL_old_1_D_max_gwp + FL_old_1_DofB4_max_gwp)$

(Here, you could differentiate between FLmas_old and FLwood_old if it's necessary. But you must check, if every relevant building age class has a value.)

$TFL_old_gwp_2_1_1 = AreaTopFloor_old * (TFL_old_1_B4_min_gwp + TFL_old_1_C3_min_gwp + TFL_old_1_C4_min_gwp)$
 $TFL_old_gwp_2_1_2 = AreaTopFloor_old * (TFL_old_1_B4_max_gwp + TFL_old_1_C3_max_gwp + TFL_old_1_C4_max_gwp)$
 $TFL_old_gwp_2_1_3 = AreaTopFloor_old * (TFL_old_1_B4_min_gwp + TFL_old_1_C3_min_gwp + TFL_old_1_C4_min_gwp + TFL_old_1_D_min_gwp + TFL_old_1_DofB4_min_gwp)$
 $TFL_old_gwp_2_1_4 = AreaTopFloor_old * (TFL_old_1_B4_max_gwp + TFL_old_1_C3_max_gwp + TFL_old_1_C4_max_gwp + TFL_old_1_D_max_gwp + TFL_old_1_DofB4_max_gwp)$

(Here, you could differentiate between TFLmas_old and TFLwood_old if it's necessary. But you must check, if every relevant building age class has a value.)

$TFL_ren_gwp_2_1_1 = AreaTopFloor_ren * (TFL_uh_ren_1_A1A3_min_gwp + TFL_uh_ren_1_B4_min_gwp + TFL_uh_ren_1_C3_min_gwp + TFL_uh_ren_1_C4_min_gwp)$
 $TFL_ren_gwp_2_1_2 = AreaTopFloor_ren * (TFL_uh_ren_1_A1A3_max_gwp + TFL_uh_ren_1_B4_max_gwp + TFL_uh_ren_1_C3_max_gwp + TFL_uh_ren_1_C4_max_gwp)$
 $TFL_ren_gwp_2_1_3 = AreaTopFloor_ren * (TFL_uh_ren_1_A1A3_min_gwp + TFL_uh_ren_1_B4_min_gwp + TFL_uh_ren_1_C3_min_gwp + TFL_uh_ren_1_C4_min_gwp + TFL_uh_ren_1_D_min_gwp + TFL_uh_ren_1_DofB4_min_gwp)$
 $TFL_ren_gwp_2_1_4 = AreaTopFloor_ren * (TFL_uh_ren_1_A1A3_max_gwp + TFL_uh_ren_1_B4_max_gwp + TFL_uh_ren_1_C3_max_gwp + TFL_uh_ren_1_C4_max_gwp + TFL_uh_ren_1_D_max_gwp + TFL_uh_ren_1_DofB4_max_gwp)$

(Here, you could differentiate between TFLmas_ren and TFLwood_ren if it's necessary. But you must check, if every relevant building age class has a value.)

$CFL_old_gwp_2_1_1 = AreaCellarFloor_old * (CFL_old_1_B4_min_gwp + CFL_old_1_C3_min_gwp + CFL_old_1_C4_min_gwp)$
 $CFL_old_gwp_2_1_2 = AreaCellarFloor_old * (CFL_old_1_B4_max_gwp + CFL_old_1_C3_max_gwp + CFL_old_1_C4_max_gwp)$
 $CFL_old_gwp_2_1_3 = AreaCellarFloor_old * (CFL_old_1_B4_min_gwp + CFL_old_1_C3_min_gwp + CFL_old_1_C4_min_gwp + CFL_old_1_D_min_gwp + CFL_old_1_DofB4_min_gwp)$
 $CFL_old_gwp_2_1_4 = AreaCellarFloor_old * (CFL_old_1_B4_max_gwp + CFL_old_1_C3_max_gwp + CFL_old_1_C4_max_gwp + CFL_old_1_D_max_gwp + CFL_old_1_DofB4_max_gwp)$

(Here, you could differentiate between CFLmas_old and CFLwood_old if it's necessary. But you must check, if every relevant building age class has a value.)

$CFL_ren_gwp_2_1_1 = AreaCellarFloor_ren * (CFL_uh_ren_1_A1A3_min_gwp + CFL_uh_ren_1_B4_min_gwp + CFL_uh_ren_1_C3_min_gwp + CFL_uh_ren_1_C4_min_gwp)$
 $CFL_ren_gwp_2_1_2 = AreaCellarFloor_ren * (CFL_uh_ren_1_A1A3_max_gwp + CFL_uh_ren_1_B4_max_gwp + CFL_uh_ren_1_C3_max_gwp + CFL_uh_ren_1_C4_max_gwp)$

$CFL_ren_gwp_2_1_3 = AreaCellarFloor_ren * (CFL_uh_ren_1_A1A3_min_gwp + CFL_uh_ren_1_B4_min_gwp + CFL_uh_ren_1_C3_min_gwp + CFL_uh_ren_1_C4_min_gwp + CFL_uh_ren_1_D_min_gwp + CFL_uh_ren_1_DofB4_min_gwp)$

$CFL_ren_gwp_2_1_4 = AreaCellarFloor_ren * (CFL_uh_ren_1_A1A3_max_gwp + CFL_uh_ren_1_B4_max_gwp + CFL_uh_ren_1_C3_max_gwp + CFL_uh_ren_1_C4_max_gwp + CFL_uh_ren_1_D_max_gwp + CFL_uh_ren_1_DofB4_max_gwp)$

(Here, you could differentiate between CFLmas_ren and CFLwood_ren if it's necessary. But you must check, if every relevant building age class has a value.)

$BP_old_gwp_2_1_1 = AreaBasePlate_old * (BP_old_1_B4_min_gwp + BP_old_1_C3_min_gwp + BP_old_1_C4_min_gwp)$

$BP_old_gwp_2_1_2 = AreaBasePlate_old * (BP_old_1_B4_max_gwp + BP_old_1_C3_max_gwp + BP_old_1_C4_max_gwp)$

$BP_old_gwp_2_1_3 = AreaBasePlate_old * (BP_old_1_B4_min_gwp + BP_old_1_C3_min_gwp + BP_old_1_C4_min_gwp + BP_old_1_D_min_gwp + BP_old_1_DofB4_min_gwp)$

$BP_old_gwp_2_1_4 = AreaBasePlate_old * (BP_old_1_B4_max_gwp + BP_old_1_C3_max_gwp + BP_old_1_C4_max_gwp + BP_old_1_D_max_gwp + BP_old_1_DofB4_max_gwp)$

$BP_ren_gwp_2_1_1 = AreaBasePlate_ren * (BP_h_ren_1_A1A3_min_gwp + BP_h_ren_1_B4_min_gwp + BP_h_ren_1_C3_min_gwp + BP_h_ren_1_C4_min_gwp)$

$BP_ren_gwp_2_1_2 = AreaBasePlate_ren * (BP_h_ren_1_A1A3_max_gwp + BP_h_ren_1_B4_max_gwp + BP_h_ren_1_C3_max_gwp + BP_h_ren_1_C4_max_gwp)$

$BP_ren_gwp_2_1_3 = AreaBasePlate_ren * (BP_h_ren_1_A1A3_min_gwp + BP_h_ren_1_B4_min_gwp + BP_h_ren_1_C3_min_gwp + BP_h_ren_1_C4_min_gwp + BP_h_ren_1_D_min_gwp + BP_h_ren_1_DofB4_min_gwp)$

$BP_ren_gwp_2_1_4 = AreaBasePlate_ren * (BP_h_ren_1_A1A3_max_gwp + BP_h_ren_1_B4_max_gwp + BP_h_ren_1_C3_max_gwp + BP_h_ren_1_C4_max_gwp + BP_h_ren_1_D_max_gwp + BP_h_ren_1_DofB4_max_gwp)$

$F_old_gwp_2_1_1 = AreaFoundation_old * (F_old_1_B4_min_gwp + F_old_1_C3_min_gwp + F_old_1_C4_min_gwp)$

$F_old_gwp_2_1_2 = AreaFoundation_old * (F_old_1_B4_max_gwp + F_old_1_C3_max_gwp + F_old_1_C4_max_gwp)$

$F_old_gwp_2_1_3 = AreaFoundation_old * (F_old_1_B4_min_gwp + F_old_1_C3_min_gwp + F_old_1_C4_min_gwp + F_old_1_D_min_gwp + F_old_1_DofB4_min_gwp)$

$F_old_gwp_2_1_4 = AreaFoundation_old * (F_old_1_B4_max_gwp + F_old_1_C3_max_gwp + F_old_1_C4_max_gwp + F_old_1_D_max_gwp + F_old_1_DofB4_max_gwp)$

$W_ren_gwp_2_1_1 = AreaWindow_ren * (W_old_1_C3_min_gwp + W_old_1_C4_min_gwp + W_nb_A1A3_min_gwp + W_nb_B4_min_gwp + W_nb_C3_min_gwp + W_nb_C4_min_gwp)$

$W_ren_gwp_2_1_2 = AreaWindow_ren * (W_old_1_C3_max_gwp + W_old_1_C4_max_gwp + W_nb_A1A3_max_gwp + W_nb_B4_max_gwp + W_nb_C3_max_gwp + W_nb_C4_max_gwp)$

$W_ren_gwp_2_1_3 = AreaWindow_ren * (W_old_1_C3_min_gwp + W_old_1_C4_min_gwp + W_old_1_D_min_gwp + W_nb_A1A3_min_gwp + W_nb_B4_min_gwp + W_nb_C3_min_gwp + W_nb_C4_min_gwp + W_nb_D_min_gwp + W_nb_DofB4_min_gwp)$

$W_ren_gwp_2_1_4 = AreaWindow_ren * (W_old_1_C3_max_gwp + W_old_1_C4_max_gwp + W_old_1_D_max_gwp + W_nb_A1A3_max_gwp + W_nb_B4_max_gwp + W_nb_C3_max_gwp + W_nb_C4_max_gwp + W_nb_D_max_gwp + W_nb_DofB4_max_gwp)$

(Here, you could differentiate between `walu_old`, `walu_nb`, `wwood_old`, `wwood_nb`, `wplas_old` and `wplas_nb` if it's necessary. But you must check, if every relevant building age class has a value.)

Description:

A variable or value, which is highlighted in **blue** is newly defined in this scenario.

Additional comments are highlighted in *green and italic*.

Tabelle A. 96: Logik der Kennwertberechnung Szenario 2.2, Sanierung mit Aufstockung in Holzrahmenbauweise; eigene Darstellung in englischer Sprache

After the determination of the building construction areas, the environmental values of every building construction of each residential building can be calculated. The next lines show the calculation of the GWP of scenario 2.2.1 to 2.2.4 for buildings in building age class 1. The other building age classes as well as PET and PENRT aren't shown in detail, but they are calculated in the same way.

If SC == 2.2.1 or if SC == 2.2.2 or if SC == 2.2.3 or if SC == 2.2.4 and
if BAC == BAC1 then

PRO_old_gwp_2_2_1 = AreaPitchedRoof_old * (PRO_old_1_C3_min_gwp
+ PRO_old_1_C4_min_gwp)

*(For PET and BAC3: PRO_old_pet_2_2_1 = AreaPitchedRoof_old
* (PRO_old_3_C3_min_pet + PRO_old_3_C4_min_pet);*

*for PENRT: PRO_old_penrt_2_2_1 = AreaPitchedRoof_old
* (PRO_old_3_C3_min_penrt + PRO_old_3_C4_min_penrt) etc.)*

PRO_old_gwp_2_2_2 = AreaPitchedRoof_old * (PRO_old_1_C3_max_gwp
+ PRO_old_1_C4_max_gwp)

PRO_old_gwp_2_2_3 = AreaPitchedRoof_old * (PRO_old_1_C3_min_gwp
+ PRO_old_1_C4_min_gwp + PRO_old_1_D_min_gwp)

PRO_old_gwp_2_2_4 = AreaPitchedRoof_old * (PRO_old_1_C3_max_gwp
+ PRO_old_1_C4_max_gwp + PRO_old_1_D_max_gwp)

FRO_old_gwp_2_2_1 = AreaFlatRoof_old * (FRO_old_1_C3_min_gwp
+ FRO_old_1_C4_min_gwp)

FRO_old_gwp_2_2_2 = AreaFlatRoof_old * (FRO_old_1_C3_max_gwp
+ FRO_old_1_C4_max_gwp)

FRO_old_gwp_2_2_3 = AreaFlatRoof_old * (FRO_old_1_C3_min_gwp
+ FRO_old_1_C4_min_gwp + FRO_old_1_D_min_gwp)

FRO_old_gwp_2_2_4 = AreaFlatRoof_old * (FRO_old_1_C3_max_gwp
+ FRO_old_1_C4_max_gwp + FRO_old_1_D_max_gwp)

*(Here, you could differentiate between FROmas_old and FROwood_old if
it's necessary. But it must be checked that every relevant building age
class has a value.)*

FRO_nb_gwp_2_2_1 = AreaFlatRoof_nb * (FROwood_tf_nb_A1A3_min_gwp
+ FROwood_tf_nb_B4_min_gwp + FROwood_tf_nb_C3_min_gwp + FROwood_tf_nb_C4_min_gwp)

FRO_nb_gwp_2_2_2 = AreaFlatRoof_nb * (FROwood_tf_nb_A1A3_max_gwp
+ FROwood_tf_nb_B4_max_gwp + FROwood_tf_nb_C3_max_gwp + FROwood_tf_nb_C4_max_gwp)

FRO_nb_gwp_2_2_3 = AreaFlatRoof_nb * (FROwood_tf_nb_A1A3_min_gwp
+ FROwood_tf_nb_B4_min_gwp + FROwood_tf_nb_C3_min_gwp + FROwood_tf_nb_C4_min_gwp
+ FROwood_tf_nb_D_min_gwp + FROwood_tf_nb_DofB4_min_gwp)

FRO_nb_gwp_2_2_4 = AreaFlatRoof_nb * (FROwood_tf_nb_A1A3_max_gwp
+ FROwood_tf_nb_B4_max_gwp + FROwood_tf_nb_C3_max_gwp + FROwood_tf_nb_C4_max_gwp
+ FROwood_tf_nb_D_max_gwp + FROwood_tf_nb_DofB4_max_gwp)

*(In this scenario it is assumed, that the new upper building part is built in
timber frame construction (FROwood_tf). But also, a solid wood construction would
be conceivable. In this case, the environmental values of cross-laminated timber
constructions (FROwood_clt) could be used.)*

$$\text{EW_ren_gwp_2_2_1} = \text{AreaExteriorWall_ren} * (\text{EW_ren_1_A1A3_min_gwp} + \text{EW_ren_1_B4_min_gwp} + \text{EW_ren_1_C3_min_gwp} + \text{EW_ren_1_C4_min_gwp})$$

$$\text{EW_ren_gwp_2_2_2} = \text{AreaExteriorWall_ren} * (\text{EW_ren_1_A1A3_max_gwp} + \text{EW_ren_1_B4_max_gwp} + \text{EW_ren_1_C3_max_gwp} + \text{EW_ren_1_C4_max_gwp})$$

$$\text{EW_ren_gwp_2_2_3} = \text{AreaExteriorWall_ren} * (\text{EW_ren_1_A1A3_min_gwp} + \text{EW_ren_1_B4_min_gwp} + \text{EW_ren_1_C3_min_gwp} + \text{EW_ren_1_C4_min_gwp} + \text{EW_ren_1_D_min_gwp} + \text{EW_ren_1_DofB4_min_gwp})$$

$$\text{EW_ren_gwp_2_2_4} = \text{AreaExteriorWall_ren} * (\text{EW_ren_1_A1A3_max_gwp} + \text{EW_ren_1_B4_max_gwp} + \text{EW_ren_1_C3_max_gwp} + \text{EW_ren_1_C4_max_gwp} + \text{EW_ren_1_D_max_gwp} + \text{EW_ren_1_DofB4_max_gwp})$$

(Here, you could differentiate between EWmas_ren, EW2shelled_ren, EWcwf_ren and EWwood_ren if it's necessary. But it must be checked that every relevant building age class has a value.)

$$\text{EW_nb_gwp_2_2_1} = \text{AreaExteriorWall_nb} * (\text{EWwood_tf_nb_A1A3_min_gwp} + \text{EWwood_tf_nb_B4_min_gwp} + \text{EWwood_tf_nb_C3_min_gwp} + \text{EWwood_tf_nb_C4_min_gwp})$$

$$\text{EW_nb_gwp_2_2_2} = \text{AreaExteriorWall_nb} * (\text{EWwood_tf_nb_A1A3_max_gwp} + \text{EWwood_tf_nb_B4_max_gwp} + \text{EWwood_tf_nb_C3_max_gwp} + \text{EWwood_tf_nb_C4_max_gwp})$$

$$\text{EW_nb_gwp_2_2_3} = \text{AreaExteriorWall_nb} * (\text{EWwood_tf_nb_A1A3_min_gwp} + \text{EWwood_tf_nb_B4_min_gwp} + \text{EWwood_tf_nb_C3_min_gwp} + \text{EWwood_tf_nb_C4_min_gwp} + \text{EWwood_tf_nb_D_min_gwp} + \text{EWwood_tf_nb_DofB4_min_gwp})$$

$$\text{EW_nb_gwp_2_2_4} = \text{AreaExteriorWall_nb} * (\text{EWwood_tf_nb_A1A3_max_gwp} + \text{EWwood_tf_nb_B4_max_gwp} + \text{EWwood_tf_nb_C3_max_gwp} + \text{EWwood_tf_nb_C4_max_gwp} + \text{EWwood_tf_nb_D_max_gwp} + \text{EWwood_tf_nb_DofB4_max_gwp})$$

(See comment at FRO_nb)

$$\text{SW_old_gwp_2_2_1} = \text{AreaSharedWall_old} * (\text{SW_old_1_B4_min_gwp} + \text{SW_old_1_C3_min_gwp} + \text{SW_old_1_C4_min_gwp})$$

$$\text{SW_old_gwp_2_2_2} = \text{AreaSharedWall_old} * (\text{SW_old_1_B4_max_gwp} + \text{SW_old_1_C3_max_gwp} + \text{SW_old_1_C4_max_gwp})$$

$$\text{SW_old_gwp_2_2_3} = \text{AreaSharedWall_old} * (\text{SW_old_1_B4_min_gwp} + \text{SW_old_1_C3_min_gwp} + \text{SW_old_1_C4_min_gwp} + \text{SW_old_1_D_min_gwp} + \text{SW_old_1_DofB4_min_gwp})$$

$$\text{SW_old_gwp_2_2_4} = \text{AreaSharedWall_old} * (\text{SW_old_1_B4_max_gwp} + \text{SW_old_1_C3_max_gwp} + \text{SW_old_1_C4_max_gwp} + \text{SW_old_1_D_max_gwp} + \text{SW_old_1_DofB4_max_gwp})$$

(Here, you could differentiate between SWmas_old, SW2shelled_old, SWcwf_old and SWwood_old if it's necessary. But it must be checked that every relevant building age class has a value.)

$$\text{SW_nb_gwp_2_2_1} = \text{AreaSharedWall_nb} * (\text{SWwood_tf_nb_A1A3_min_gwp} + \text{SWwood_tf_nb_B4_min_gwp} + \text{SWwood_tf_nb_C3_min_gwp} + \text{SWwood_tf_nb_C4_min_gwp})$$

$$\text{SW_nb_gwp_2_2_2} = \text{AreaSharedWall_nb} * (\text{SWwood_tf_nb_A1A3_max_gwp} + \text{SWwood_tf_nb_B4_max_gwp} + \text{SWwood_tf_nb_C3_max_gwp} + \text{SWwood_tf_nb_C4_max_gwp})$$

$$\text{SW_nb_gwp_2_2_3} = \text{AreaSharedWall_nb} * (\text{SWwood_tf_nb_A1A3_min_gwp} + \text{SWwood_tf_nb_B4_min_gwp} + \text{SWwood_tf_nb_C3_min_gwp} + \text{SWwood_tf_nb_C4_min_gwp} + \text{SWwood_tf_nb_D_min_gwp} + \text{SWwood_tf_nb_DofB4_min_gwp})$$

$$\text{SW_nb_gwp_2_2_4} = \text{AreaSharedWall_nb} * (\text{SWwood_tf_nb_A1A3_max_gwp} + \text{SWwood_tf_nb_B4_max_gwp} + \text{SWwood_tf_nb_C3_max_gwp} + \text{SWwood_tf_nb_C4_max_gwp} + \text{SWwood_tf_nb_D_max_gwp} + \text{SWwood_tf_nb_DofB4_max_gwp})$$

(See comment at FRO_nb)

$IW_old_gwp_2_2_1 = AreaInteriorWall_old * (IW_old_1_B4_min_gwp + IW_old_1_C3_min_gwp + IW_old_1_C4_min_gwp)$

$IW_old_gwp_2_2_2 = AreaInteriorWall_old * (IW_old_1_B4_max_gwp + IW_old_1_C3_max_gwp + IW_old_1_C4_max_gwp)$

$IW_old_gwp_2_2_3 = AreaInteriorWall_old * (IW_old_1_B4_min_gwp + IW_old_1_C3_min_gwp + IW_old_1_C4_min_gwp + IW_old_1_D_min_gwp + IW_old_1_DofB4_min_gwp)$

$IW_old_gwp_2_2_4 = AreaInteriorWall_old * (IW_old_1_B4_max_gwp + IW_old_1_C3_max_gwp + IW_old_1_C4_max_gwp + IW_old_1_D_max_gwp + IW_old_1_DofB4_max_gwp)$

(Here, you could differentiate between $Iwmas_old$ and $Iwood_old$ if it's necessary. But it must be checked that every relevant building age class has a value.)

$IW_nb_gwp_2_2_1 = AreaInteriorWall_nb * (Iwood_tf_nb_A1A3_min_gwp + Iwood_tf_nb_B4_min_gwp + Iwood_tf_nb_C3_min_gwp + Iwood_tf_nb_C4_min_gwp)$

$IW_nb_gwp_2_2_2 = AreaInteriorWall_nb * (Iwood_tf_nb_A1A3_max_gwp + Iwood_tf_nb_B4_max_gwp + Iwood_tf_nb_C3_max_gwp + Iwood_tf_nb_C4_max_gwp)$

$IW_nb_gwp_2_2_3 = AreaInteriorWall_nb * (Iwood_tf_nb_A1A3_min_gwp + Iwood_tf_nb_B4_min_gwp + Iwood_tf_nb_C3_min_gwp + Iwood_tf_nb_C4_min_gwp + Iwood_tf_nb_D_min_gwp + Iwood_tf_nb_DofB4_min_gwp)$

$IW_nb_gwp_2_2_4 = AreaInteriorWall_nb * (Iwood_tf_nb_A1A3_max_gwp + Iwood_tf_nb_B4_max_gwp + Iwood_tf_nb_C3_max_gwp + Iwood_tf_nb_C4_max_gwp + Iwood_tf_nb_D_max_gwp + Iwood_tf_nb_DofB4_max_gwp)$

(See comment at FRO_nb)

$CW_old_gwp_2_2_1 = AreaCellarWall_old * (CW_old_1_B4_min_gwp + CW_old_1_C3_min_gwp + CW_old_1_C4_min_gwp)$

$CW_old_gwp_2_2_2 = AreaCellarWall_old * (CW_old_1_B4_max_gwp + CW_old_1_C3_max_gwp + CW_old_1_C4_max_gwp)$

$CW_old_gwp_2_2_3 = AreaCellarWall_old * (CW_old_1_B4_min_gwp + CW_old_1_C3_min_gwp + CW_old_1_C4_min_gwp + CW_old_1_D_min_gwp + CW_old_1_DofB4_min_gwp)$

$CW_old_gwp_2_2_4 = AreaCellarWall_old * (CW_old_1_B4_max_gwp + CW_old_1_C3_max_gwp + CW_old_1_C4_max_gwp + CW_old_1_D_max_gwp + CW_old_1_DofB4_max_gwp)$

$CW_ren_gwp_2_2_1 = AreaCellarWall_ren * (CW_h_ren_1_A1A3_min_gwp + CW_h_ren_1_B4_min_gwp + CW_h_ren_1_C3_min_gwp + CW_h_ren_1_C4_min_gwp)$

$CW_ren_gwp_2_2_2 = AreaCellarWall_ren * (CW_h_ren_1_A1A3_max_gwp + CW_h_ren_1_B4_max_gwp + CW_h_ren_1_C3_max_gwp + CW_h_ren_1_C4_max_gwp)$

$CW_ren_gwp_2_2_3 = AreaCellarWall_ren * (CW_h_ren_1_A1A3_min_gwp + CW_h_ren_1_B4_min_gwp + CW_h_ren_1_C3_min_gwp + CW_h_ren_1_C4_min_gwp + CW_h_ren_1_D_min_gwp + CW_h_ren_1_DofB4_min_gwp)$

$CW_ren_gwp_2_2_4 = AreaCellarWall_ren * (CW_h_ren_1_A1A3_max_gwp + CW_h_ren_1_B4_max_gwp + CW_h_ren_1_C3_max_gwp + CW_h_ren_1_C4_max_gwp + CW_h_ren_1_D_max_gwp + CW_h_ren_1_DofB4_max_gwp)$

$$\text{SCW_old_gwp_2_2_1} = \text{AreaSharedCellarWall_old} * (\text{SCW_old_1_B4_min_gwp} + \text{SCW_old_1_C3_min_gwp} + \text{SCW_old_1_C4_min_gwp})$$

$$\text{SCW_old_gwp_2_2_2} = \text{AreaSharedCellarWall_old} * (\text{SCW_old_1_B4_max_gwp} + \text{SCW_old_1_C3_max_gwp} + \text{SCW_old_1_C4_max_gwp})$$

$$\text{SCW_old_gwp_2_2_3} = \text{AreaSharedCellarWall_old} * (\text{SCW_old_1_B4_min_gwp} + \text{SCW_old_1_C3_min_gwp} + \text{SCW_old_1_C4_min_gwp} + \text{SCW_old_1_D_min_gwp} + \text{SCW_old_1_DofB4_min_gwp})$$

$$\text{SCW_old_gwp_2_2_4} = \text{AreaSharedCellarWall_old} * (\text{SCW_old_1_B4_max_gwp} + \text{SCW_old_1_C3_max_gwp} + \text{SCW_old_1_C4_max_gwp} + \text{SCW_old_1_D_max_gwp} + \text{SCW_old_1_DofB4_max_gwp})$$

$$\text{SCW_ren_gwp_2_2_1} = \text{AreaSharedCellarWall_ren} * (\text{SCW_h_ren_1_A1A3_min_gwp} + \text{SCW_h_ren_1_B4_min_gwp} + \text{SCW_h_ren_1_C3_min_gwp} + \text{SCW_h_ren_1_C4_min_gwp})$$

$$\text{SCW_ren_gwp_2_2_2} = \text{AreaSharedCellarWall_ren} * (\text{SCW_h_ren_1_A1A3_max_gwp} + \text{SCW_h_ren_1_B4_max_gwp} + \text{SCW_h_ren_1_C3_max_gwp} + \text{SCW_h_ren_1_C4_max_gwp})$$

$$\text{SCW_ren_gwp_2_2_3} = \text{AreaSharedCellarWall_ren} * (\text{SCW_h_ren_1_A1A3_min_gwp} + \text{SCW_h_ren_1_B4_min_gwp} + \text{SCW_h_ren_1_C3_min_gwp} + \text{SCW_h_ren_1_C4_min_gwp} + \text{SCW_h_ren_1_D_min_gwp} + \text{SCW_h_ren_1_DofB4_min_gwp})$$

$$\text{SCW_ren_gwp_2_2_4} = \text{AreaSharedCellarWall_ren} * (\text{SCW_h_ren_1_A1A3_max_gwp} + \text{SCW_h_ren_1_B4_max_gwp} + \text{SCW_h_ren_1_C3_max_gwp} + \text{SCW_h_ren_1_C4_max_gwp} + \text{SCW_h_ren_1_D_max_gwp} + \text{SCW_h_ren_1_DofB4_max_gwp})$$

$$\text{FL_ren_gwp_2_2_1} = \text{AreaFloor_ren} * (\text{FL_old_1_B4_min_gwp} + \text{FL_old_1_C3_min_gwp} + \text{FL_old_1_C4_min_gwp})$$

$$\text{FL_ren_gwp_2_2_2} = \text{AreaFloor_ren} * (\text{FL_old_1_B4_max_gwp} + \text{FL_old_1_C3_max_gwp} + \text{FL_old_1_C4_max_gwp})$$

$$\text{FL_ren_1_gwp_2_2_3} = \text{AreaFloor_ren} * (\text{FL_old_1_B4_min_gwp} + \text{FL_old_1_C3_min_gwp} + \text{FL_old_1_C4_min_gwp} + \text{FL_old_1_D_min_gwp} + \text{FL_old_1_DofB4_min_gwp})$$

$$\text{FL_ren_1_gwp_2_2_4} = \text{AreaFloor_ren} * (\text{FL_old_1_B4_max_gwp} + \text{FL_old_1_C3_max_gwp} + \text{FL_old_1_C4_max_gwp} + \text{FL_old_1_D_max_gwp} + \text{FL_old_1_DofB4_max_gwp})$$

(The FL_ren will stay in the building for another 50 years as it is. Nothing is renovated. You could differentiate between FLmas_ren and FLwood_ren if it's necessary. But it must be checked that every relevant building age class has a value.)

$$\text{FL_old_gwp_2_2_1} = \text{AreaFloor_old} * (\text{FL_old_1_C3_min_gwp} + \text{FL_old_1_C4_min_gwp})$$

$$\text{FL_old_gwp_2_2_2} = \text{AreaFloor_old} * (\text{FL_old_1_C3_max_gwp} + \text{FL_old_1_C4_max_gwp})$$

$$\text{FL_old_gwp_2_2_3} = \text{AreaFloor_old} * (\text{FL_old_1_C3_min_gwp} + \text{FL_old_1_C4_min_gwp} + \text{FL_old_1_D_min_gwp})$$

$$\text{FL_old_gwp_2_2_4} = \text{AreaFloor_old} * (\text{FL_old_1_C3_max_gwp} + \text{FL_old_1_C4_max_gwp} + \text{FL_old_1_D_max_gwp})$$

(FL_old relevant if the building has an old FRO or a heated top floor with a PRO. Then the top FL is demolished and replaced by a new wooden floor. You could also differentiate between FLmas_old and FLwood_old if it's necessary. But it must be checked that every relevant building age class has a value.)

$$\text{FL_nb_gwp_2_2_1} = \text{AreaFloor_nb} * (\text{FLwood_tf_nb_A1A3_min_gwp} + \text{FLwood_tf_nb_B4_min_gwp} + \text{FLwood_tf_nb_C3_min_gwp} + \text{FLwood_tf_nb_C4_min_gwp})$$

$$\text{FL_nb_gwp_2_2_2} = \text{AreaFloor_nb} * (\text{FLwood_tf_nb_A1A3_max_gwp} + \text{FLwood_tf_nb_B4_max_gwp} + \text{FLwood_tf_nb_C3_max_gwp} + \text{FLwood_tf_nb_C4_max_gwp})$$

$FL_nb_gwp_2_2_3 = AreaFloor_nb * (FLwood_tf_nb_A1A3_min_gwp$
 $+ FLwood_tf_nb_B4_min_gwp + FLwood_tf_nb_C3_min_gwp + FLwood_tf_nb_C4_min_gwp$
 $+ FLwood_tf_nb_D_min_gwp + FLwood_tf_nb_DofB4_min_gwp)$

$FL_nb_gwp_2_2_4 = AreaFloor_nb * (FLwood_tf_nb_A1A3_max_gwp$
 $+ FLwood_tf_nb_B4_max_gwp + FLwood_tf_nb_C3_max_gwp + FLwood_tf_nb_C4_max_gwp$
 $+ FLwood_tf_nb_D_max_gwp + FLwood_tf_nb_DofB4_max_gwp)$

(See comment at FRO_nb)

$TFL_old_gwp_2_2_1 = AreaTopFloor_old * (TFL_old_1_C3_min_gwp$
 $+ TFL_old_1_C4_min_gwp)$

$TFL_old_gwp_2_2_2 = AreaTopFloor_old * (TFL_old_1_C3_max_gwp$
 $+ TFL_old_1_C4_max_gwp)$

$TFL_old_gwp_2_2_3 = AreaTopFloor_old * (TFL_old_1_C3_min_gwp$
 $+ TFL_old_1_C4_min_gwp + TFL_old_1_D_min_gwp)$

$TFL_old_gwp_2_2_4 = AreaTopFloor_old * (TFL_old_1_C3_max_gwp$
 $+ TFL_old_1_C4_max_gwp + TFL_old_1_D_max_gwp)$

(The TFL_old only exists if the top floor is unheated and the old roof is a PRO. It is demolished and replaced by a new floor in wooden construction. You could differentiate between TFLmas_old and TFLwood_old if it's necessary. But it must be checked that every relevant building age class has a value.)

$CFL_old_gwp_2_2_1 = AreaCellarFloor_old * (CFL_old_1_B4_min_gwp$
 $+ CFL_old_1_C3_min_gwp + CFL_old_1_C4_min_gwp)$

$CFL_old_gwp_2_2_2 = AreaCellarFloor_old * (CFL_old_1_B4_max_gwp$
 $+ CFL_old_1_C3_max_gwp + CFL_old_1_C4_max_gwp)$

$CFL_old_gwp_2_2_3 = AreaCellarFloor_old * (CFL_old_1_B4_min_gwp$
 $+ CFL_old_1_C3_min_gwp + CFL_old_1_C4_min_gwp + CFL_old_1_D_min_gwp$
 $+ CFL_old_1_DofB4_min_gwp)$

$CFL_old_gwp_2_2_4 = AreaCellarFloor_old * (CFL_old_1_B4_max_gwp$
 $+ CFL_old_1_C3_max_gwp + CFL_old_1_C4_max_gwp + CFL_old_1_D_max_gwp$
 $+ CFL_old_1_DofB4_max_gwp)$

(Here, you could differentiate between CFLmas_old and CFLwood_old if it's necessary. But it must be checked that every relevant building age class has a value.)

$CFL_ren_gwp_2_2_1 = AreaCellarFloor_ren * (CFL_uh_ren_1_A1A3_min_gwp$
 $+ CFL_uh_ren_1_B4_min_gwp + CFL_uh_ren_1_C3_min_gwp + CFL_uh_ren_1_C4_min_gwp)$

$CFL_ren_gwp_2_2_2 = AreaCellarFloor_ren * (CFL_uh_ren_1_A1A3_max_gwp$
 $+ CFL_uh_ren_1_B4_max_gwp + CFL_uh_ren_1_C3_max_gwp + CFL_uh_ren_1_C4_max_gwp)$

$CFL_ren_gwp_2_2_3 = AreaCellarFloor_ren * (CFL_uh_ren_1_A1A3_min_gwp$
 $+ CFL_uh_ren_1_B4_min_gwp + CFL_uh_ren_1_C3_min_gwp + CFL_uh_ren_1_C4_min_gwp$
 $+ CFL_uh_ren_1_D_min_gwp + CFL_uh_ren_1_DofB4_min_gwp)$

$CFL_ren_gwp_2_2_4 = AreaCellarFloor_ren * (CFL_uh_ren_1_A1A3_max_gwp$
 $+ CFL_uh_ren_1_B4_max_gwp + CFL_uh_ren_1_C3_max_gwp + CFL_uh_ren_1_C4_max_gwp$
 $+ CFL_uh_ren_1_D_max_gwp + CFL_uh_ren_1_DofB4_max_gwp)$

(Here, you could differentiate between CFLmas_ren and CFLwood_ren if it's necessary. But it must be checked that every relevant building age class has a value.)

$BP_old_gwp_2_2_1 = AreaBasePlate_old * (BP_old_1_B4_min_gwp + BP_old_1_C3_min_gwp + BP_old_1_C4_min_gwp)$
 $BP_old_gwp_2_2_2 = AreaBasePlate_old * (BP_old_1_B4_max_gwp + BP_old_1_C3_max_gwp + BP_old_1_C4_max_gwp)$
 $BP_old_gwp_2_2_3 = AreaBasePlate_old * (BP_old_1_B4_min_gwp + BP_old_1_C3_min_gwp + BP_old_1_C4_min_gwp + BP_old_1_D_min_gwp + BP_old_1_DofB4_min_gwp)$
 $BP_old_gwp_2_2_4 = AreaBasePlate_old * (BP_old_1_B4_max_gwp + BP_old_1_C3_max_gwp + BP_old_1_C4_max_gwp + BP_old_1_D_max_gwp + BP_old_1_DofB4_max_gwp)$

$BP_ren_gwp_2_2_1 = AreaBasePlate_ren * (BP_h_ren_1_A1A3_min_gwp + BP_h_ren_1_B4_min_gwp + BP_h_ren_1_C3_min_gwp + BP_h_ren_1_C4_min_gwp)$
 $BP_ren_gwp_2_2_2 = AreaBasePlate_ren * (BP_h_ren_1_A1A3_max_gwp + BP_h_ren_1_B4_max_gwp + BP_h_ren_1_C3_max_gwp + BP_h_ren_1_C4_max_gwp)$
 $BP_ren_gwp_2_2_3 = AreaBasePlate_ren * (BP_h_ren_1_A1A3_min_gwp + BP_h_ren_1_B4_min_gwp + BP_h_ren_1_C3_min_gwp + BP_h_ren_1_C4_min_gwp + BP_h_ren_1_D_min_gwp + BP_h_ren_1_DofB4_min_gwp)$
 $BP_ren_gwp_2_2_4 = AreaBasePlate_ren * (BP_h_ren_1_A1A3_max_gwp + BP_h_ren_1_B4_max_gwp + BP_h_ren_1_C3_max_gwp + BP_h_ren_1_C4_max_gwp + BP_h_ren_1_D_max_gwp + BP_h_ren_1_DofB4_max_gwp)$

$F_old_gwp_2_2_1 = AreaFoundation_old * (F_old_1_B4_min_gwp + F_old_1_C3_min_gwp + F_old_1_C4_min_gwp)$
 $F_old_gwp_2_2_2 = AreaFoundation_old * (F_old_1_B4_max_gwp + F_old_1_C3_max_gwp + F_old_1_C4_max_gwp)$
 $F_old_gwp_2_2_3 = AreaFoundation_old * (F_old_1_B4_min_gwp + F_old_1_C3_min_gwp + F_old_1_C4_min_gwp + F_old_1_D_min_gwp + F_old_1_DofB4_min_gwp)$
 $F_old_gwp_2_2_4 = AreaFoundation_old * (F_old_1_B4_max_gwp + F_old_1_C3_max_gwp + F_old_1_C4_max_gwp + F_old_1_D_max_gwp + F_old_1_DofB4_max_gwp)$

$W_ren_gwp_2_2_1 = AreaWindow_ren * (W_old_1_C3_min_gwp + W_old_1_C4_min_gwp + W_nb_A1A3_min_gwp + W_nb_B4_min_gwp + W_nb_C3_min_gwp + W_nb_C4_min_gwp)$
 $W_ren_gwp_2_2_2 = AreaWindow_ren * (W_old_1_C3_max_gwp + W_old_1_C4_max_gwp + W_nb_A1A3_max_gwp + W_nb_B4_max_gwp + W_nb_C3_max_gwp + W_nb_C4_max_gwp)$
 $W_ren_gwp_2_2_3 = AreaWindow_ren * (W_old_1_C3_min_gwp + W_old_1_C4_min_gwp + W_old_1_D_min_gwp + W_nb_A1A3_min_gwp + W_nb_B4_min_gwp + W_nb_C3_min_gwp + W_nb_C4_min_gwp + W_nb_D_min_gwp + W_nb_DofB4_min_gwp)$
 $W_ren_gwp_2_2_4 = AreaWindow_ren * (W_old_1_C3_max_gwp + W_old_1_C4_max_gwp + W_old_1_D_max_gwp + W_nb_A1A3_max_gwp + W_nb_B4_max_gwp + W_nb_C3_max_gwp + W_nb_C4_max_gwp + W_nb_D_max_gwp + W_nb_DofB4_max_gwp)$

(Here, you could differentiate between $Walu_old$, $Walu_nb$, $Wwood_old$, $Wwood_nb$, $Wplas_old$ and $Wplas_nb$ if it's necessary. But it must be checked that every relevant building age class has a value.)

$W_nb_gwp_2_2_1 = AreaWindow_nb * (W_nb_A1A3_min_gwp + W_nb_B4_min_gwp + W_nb_C3_min_gwp + W_nb_C4_min_gwp)$
 $W_nb_gwp_2_2_2 = AreaWindow_nb * (W_nb_A1A3_max_gwp + W_nb_B4_max_gwp + W_nb_C3_max_gwp + W_nb_C4_max_gwp)$
 $W_nb_gwp_2_2_3 = AreaWindow_nb * (W_nb_A1A3_min_gwp + W_nb_B4_min_gwp + W_nb_C3_min_gwp + W_nb_C4_min_gwp + W_nb_D_min_gwp + W_nb_DofB4_min_gwp)$

A.10 Berechnungslogiken der ökologischen Kennwerte für die LCA auf Quartiersebene

$W_nb_gwp_2_2_4 = AreaWindow_nb * (W_nb_A1A3_max_gwp + W_nb_B4_max_gwp + W_nb_C3_max_gwp + W_nb_C4_max_gwp + W_nb_D_max_gwp + W_nb_DofB4_max_gwp)$
(Here, you could differentiate between W_{alu_nb} , W_{wood_nb} and W_{plas_nb} if it's necessary. But it must be checked that every relevant building age class has a value.)

Description:

A variable or value, which is highlighted in blue is newly defined in this scenario.

Additional comments are highlighted in *green and italic*.

Tabelle A. 97: Logik der Kennwertberechnung Szenario 3.1, Abriss und Ersatzneubau in Holzbauweise; eigene Darstellung in englischer Sprache

After the determination of the building construction areas, the environmental values of every building construction of each residential building can be calculated. The next lines show the calculation of the GWP of scenario 3.1.1 to 3.1.4 for buildings in building age class 1. The other building age classes as well as PET and PENRT aren't shown in detail, but they are calculated in the same way.

If SC == 3.1.1 or if SC == 3.1.2 or if SC == 3.1.3 or if SC == 3.1.4 and
if BAC == BAC1 then

```
PRO_old_gwp_3_1_1 = AreaPitchedRoof_old * (PRO_old_1_C3_min_gwp
+ PRO_old_1_C4_min_gwp)
PRO_old_gwp_3_1_2 = AreaPitchedRoof_old * (PRO_old_1_C3_max_gwp
+ PRO_old_1_C4_max_gwp)
PRO_old_gwp_3_1_3 = AreaPitchedRoof_old * (PRO_old_1_C3_min_gwp
+ PRO_old_1_C4_min_gwp + PRO_old_1_D_min_gwp)
PRO_old_gwp_3_1_4 = AreaPitchedRoof_old * (PRO_old_1_C3_max_gwp
+ PRO_old_1_C4_max_gwp + PRO_old_1_D_max_gwp)
(For PET and BAC3: PRO_old_pet_3_1_1 = AreaPitchedRoof_old * (PRO_old_3_C3_min_pet
+ PRO_old_3_C4_min_pet);
for PENRT: PRO_old_penrt_3_1_1 = AreaPitchedRoof_old * (PRO_old_3_C3_min_penrt
+ PRO_old_3_C4_min_penrt) etc.)
```

```
FRO_old_gwp_3_1_1 = AreaFlatRoof_old * (FRO_old_1_C3_min_gwp
+ FRO_old_1_C4_min_gwp)
FRO_old_gwp_3_1_2 = AreaFlatRoof_old * (FRO_old_1_C3_max_gwp
+ FRO_old_1_C4_max_gwp)
FRO_old_gwp_3_1_3 = AreaFlatRoof_old * (FRO_old_1_C3_min_gwp
+ FRO_old_1_C4_min_gwp + FRO_old_1_D_min_gwp)
FRO_old_gwp_3_1_4 = AreaFlatRoof_old * (FRO_old_1_C3_max_gwp
+ FRO_old_1_C4_max_gwp + FRO_old_1_D_max_gwp)
(Here, you could differentiate between FROmas_old and FROwood_old if it's
necessary. But it must be checked that every relevant building age class has a
value.)
```

```
FRO_nb_gwp_3_1_1 = AreaFlatRoof_nb * (FROwood_nb_A1A3_min_gwp
+ FROwood_nb_B4_min_gwp + FROwood_nb_C3_min_gwp + FROwood_nb_C4_min_gwp)
FRO_nb_gwp_3_1_2 = AreaFlatRoof_nb * (FROwood_nb_A1A3_max_gwp
+ FROwood_nb_B4_max_gwp + FROwood_nb_C3_max_gwp + FROwood_nb_C4_max_gwp)
FRO_nb_gwp_3_1_3 = AreaFlatRoof_nb * (FROwood_nb_A1A3_min_gwp
+ FROwood_nb_B4_min_gwp + FROwood_nb_C3_min_gwp + FROwood_nb_C4_min_gwp
+ FROwood_nb_D_min_gwp + FROwood_nb_DofB4_min_gwp)
FRO_nb_gwp_3_1_4 = AreaFlatRoof_nb * (FROwood_nb_A1A3_max_gwp
+ FROwood_nb_B4_max_gwp + FROwood_nb_C3_max_gwp + FROwood_nb_C4_max_gwp
+ FROwood_nb_D_max_gwp + FROwood_nb_DofB4_max_gwp)
(In this scenario two timber construction types are considered: timber frame
construction and cross-laminated timber construction. If you want to, you could
only choose one of them (FROwood_tf or FROwood_clt).)
```

$EW_old_gwp_3_1_1 = AreaExteriorWall_old * (EW_old_1_C3_min_gwp + EW_old_1_C4_min_gwp)$

$EW_old_gwp_3_1_2 = AreaExteriorWall_old * (EW_old_1_C3_max_gwp + EW_old_1_C4_max_gwp)$

$EW_old_gwp_3_1_3 = AreaExteriorWall_old * (EW_old_1_C3_min_gwp + EW_old_1_C4_min_gwp + EW_old_1_D_min_gwp)$

$EW_old_gwp_3_1_4 = AreaExteriorWall_old * (EW_old_1_C3_max_gwp + EW_old_1_C4_max_gwp + EW_old_1_D_max_gwp)$

(Here, you could differentiate between EWmas_old, EW2shelled_old, EWcwf_old and EWwood_old if it's necessary. But it must be checked that every relevant building age class has a value.)

$EW_nb_gwp_3_1_1 = AreaExteriorWall_nb * (EWwood_nb_A1A3_min_gwp + EWwood_nb_B4_min_gwp + EWwood_nb_C3_min_gwp + EWwood_nb_C4_min_gwp)$

$EW_nb_gwp_3_1_2 = AreaExteriorWall_nb * (EWwood_nb_A1A3_max_gwp + EWwood_nb_B4_max_gwp + EWwood_nb_C3_max_gwp + EWwood_nb_C4_max_gwp)$

$EW_nb_gwp_3_1_3 = AreaExteriorWall_nb * (EWwood_nb_A1A3_min_gwp + EWwood_nb_B4_min_gwp + EWwood_nb_C3_min_gwp + EWwood_nb_C4_min_gwp + EWwood_nb_D_min_gwp + EWwood_nb_DofB4_min_gwp)$

$EW_nb_gwp_3_1_4 = AreaExteriorWall_nb * (EWwood_nb_A1A3_max_gwp + EWwood_nb_B4_max_gwp + EWwood_nb_C3_max_gwp + EWwood_nb_C4_max_gwp + EWwood_nb_D_max_gwp + EWwood_nb_DofB4_max_gwp)$

(See comment at FRO_nb)

$SW_old_gwp_3_1_1 = AreaSharedWall_old * (SW_old_1_C3_min_gwp + SW_old_1_C4_min_gwp)$

$SW_old_gwp_3_1_2 = AreaSharedWall_old * (SW_old_1_C3_max_gwp + SW_old_1_C4_max_gwp)$

$SW_old_gwp_3_1_3 = AreaSharedWall_old * (SW_old_1_C3_min_gwp + SW_old_1_C4_min_gwp + SW_old_1_D_min_gwp)$

$SW_old_gwp_3_1_4 = AreaSharedWall_old * (SW_old_1_C3_max_gwp + SW_old_1_C4_max_gwp + SW_old_1_D_max_gwp)$

(Here, you could differentiate between SWmas_old, SW2shelled_old, SWcwf_old and SWwood_old if it's necessary. But it must be checked that every relevant building age class has a value.)

$SW_nb_gwp_3_1_1 = AreaSharedWall_nb * (SWwood_nb_A1A3_min_gwp + SWwood_nb_B4_min_gwp + SWwood_nb_C3_min_gwp + SWwood_nb_C4_min_gwp)$

$SW_nb_gwp_3_1_2 = AreaSharedWall_nb * (SWwood_nb_A1A3_max_gwp + SWwood_nb_B4_max_gwp + SWwood_nb_C3_max_gwp + SWwood_nb_C4_max_gwp)$

$SW_nb_gwp_3_1_3 = AreaSharedWall_nb * (SWwood_nb_A1A3_min_gwp + SWwood_nb_B4_min_gwp + SWwood_nb_C3_min_gwp + SWwood_nb_C4_min_gwp + SWwood_nb_D_min_gwp + SWwood_nb_DofB4_min_gwp)$

$SW_nb_gwp_3_1_4 = AreaSharedWall_nb * (SWwood_nb_A1A3_max_gwp + SWwood_nb_B4_max_gwp + SWwood_nb_C3_max_gwp + SWwood_nb_C4_max_gwp + SWwood_nb_D_max_gwp + SWwood_nb_DofB4_max_gwp)$

(See comment at FRO_nb)

$IW_old_gwp_3_1_1 = AreaInteriorWall_old * (IW_old_1_C3_min_gwp + IW_old_1_C4_min_gwp)$

$$IW_old_gwp_3_1_2 = AreaInteriorWall_old * (IW_old_1_C3_max_gwp + IW_old_1_C4_max_gwp)$$

$$IW_old_gwp_3_1_3 = AreaInteriorWall_old * (IW_old_1_C3_min_gwp + IW_old_1_C4_min_gwp + IW_old_1_D_min_gwp)$$

$$IW_old_gwp_3_1_4 = AreaInteriorWall_old * (IW_old_1_C3_max_gwp + IW_old_1_C4_max_gwp + IW_old_1_D_max_gwp)$$

(Here, you could differentiate between $Iwmas_old$ and $Iwood_old$ if it's necessary. But it must be checked that every relevant building age class has a value.)

$$IW_nb_gwp_3_1_1 = AreaInteriorWall_nb * (Iwood_nb_A1A3_min_gwp + Iwood_nb_B4_min_gwp + Iwood_nb_C3_min_gwp + Iwood_nb_C4_min_gwp)$$

$$IW_nb_gwp_3_1_2 = AreaInteriorWall_nb * (Iwood_nb_A1A3_max_gwp + Iwood_nb_B4_max_gwp + Iwood_nb_C3_max_gwp + Iwood_nb_C4_max_gwp)$$

$$IW_nb_gwp_3_1_3 = AreaInteriorWall_nb * (Iwood_nb_A1A3_min_gwp + Iwood_nb_B4_min_gwp + Iwood_nb_C3_min_gwp + Iwood_nb_C4_min_gwp + Iwood_nb_D_min_gwp + Iwood_nb_DofB4_min_gwp)$$

$$IW_nb_gwp_3_1_4 = AreaInteriorWall_nb * (Iwood_nb_A1A3_max_gwp + Iwood_nb_B4_max_gwp + Iwood_nb_C3_max_gwp + Iwood_nb_C4_max_gwp + Iwood_nb_D_max_gwp + Iwood_nb_DofB4_max_gwp)$$

(See comment at FRO_nb)

$$CW_old_gwp_3_1_1 = AreaCellarWall_old * (CW_old_1_C3_min_gwp + CW_old_1_C4_min_gwp)$$

$$CW_old_gwp_3_1_2 = AreaCellarWall_old * (CW_old_1_C3_max_gwp + CW_old_1_C4_max_gwp)$$

$$CW_old_gwp_3_1_3 = AreaCellarWall_old * (CW_old_1_C3_min_gwp + CW_old_1_C4_min_gwp + CW_old_1_D_min_gwp)$$

$$CW_old_gwp_3_1_4 = AreaCellarWall_old * (CW_old_1_C3_max_gwp + CW_old_1_C4_max_gwp + CW_old_1_D_max_gwp)$$

$$CW_h_nb_gwp_3_1_1 = AreaCellarWall_h_nb * (CW_h_nb_A1A3_min_gwp + CW_h_nb_B4_min_gwp + CW_h_nb_C3_min_gwp + CW_h_nb_C4_min_gwp)$$

$$CW_h_nb_gwp_3_1_2 = AreaCellarWall_h_nb * (CW_h_nb_A1A3_max_gwp + CW_h_nb_B4_max_gwp + CW_h_nb_C3_max_gwp + CW_h_nb_C4_max_gwp)$$

$$CW_h_nb_gwp_3_1_3 = AreaCellarWall_h_nb * (CW_h_nb_A1A3_min_gwp + CW_h_nb_B4_min_gwp + CW_h_nb_C3_min_gwp + CW_h_nb_C4_min_gwp + CW_h_nb_D_min_gwp + CW_h_nb_DofB4_min_gwp)$$

$$CW_h_nb_gwp_3_1_4 = AreaCellarWall_h_nb * (CW_h_nb_A1A3_max_gwp + CW_h_nb_B4_max_gwp + CW_h_nb_C3_max_gwp + CW_h_nb_C4_max_gwp + CW_h_nb_D_max_gwp + CW_h_nb_DofB4_max_gwp)$$

(In this scenario four massive construction types are considered: construction with brick (CW_h_br), lime sand brick (CW_h_lsb), gas concrete (CW_h_gs) and reinforced concrete (CWh_h_rc). If you want to, you could only choose only a part of them.)

$$CW_uh_nb_gwp_3_1_1 = AreaCellarWall_uh_nb * (CW_uh_nb_A1A3_min_gwp + CW_uh_nb_B4_min_gwp + CW_uh_nb_C3_min_gwp + CW_uh_nb_C4_min_gwp)$$

$$CW_uh_nb_gwp_3_1_2 = AreaCellarWall_uh_nb * (CW_uh_nb_A1A3_max_gwp + CW_uh_nb_B4_max_gwp + CW_uh_nb_C3_max_gwp + CW_uh_nb_C4_max_gwp)$$

$$\begin{aligned} CW_{uh_nb_gwp_3_1_3} &= AreaCellarWall_{uh_nb} * (CW_{uh_nb_A1A3_min_gwp} \\ &+ CW_{uh_nb_B4_min_gwp} + CW_{uh_nb_C3_min_gwp} + CW_{uh_nb_C4_min_gwp} \\ &+ CW_{uh_nb_D_min_gwp} + CW_{uh_nb_DofB4_min_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CW_{uh_nb_gwp_3_1_4} &= AreaCellarWall_{uh_nb} * (CW_{uh_nb_A1A3_max_gwp} \\ &+ CW_{uh_nb_B4_max_gwp} + CW_{uh_nb_C3_max_gwp} + CW_{uh_nb_C4_max_gwp} \\ &+ CW_{uh_nb_D_max_gwp} + CW_{uh_nb_DofB4_max_gwp}) \end{aligned}$$

(see comment at CW_h_nb)

$$\begin{aligned} SCW_{old_gwp_3_1_1} &= AreaSharedCellarWall_{old} * (SCW_{old_1_C3_min_gwp} \\ &+ SCW_{old_1_C4_min_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SCW_{old_gwp_3_1_2} &= AreaSharedCellarWall_{old} * (SCW_{old_1_C3_max_gwp} \\ &+ SCW_{old_1_C4_max_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SCW_{old_gwp_3_1_3} &= AreaSharedCellarWall_{old} * (SCW_{old_1_C3_min_gwp} \\ &+ SCW_{old_1_C4_min_gwp} + SCW_{old_1_D_min_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SCW_{old_gwp_3_1_4} &= AreaSharedCellarWall_{old} * (SCW_{old_1_C3_max_gwp} \\ &+ SCW_{old_1_C4_max_gwp} + SCW_{old_1_D_max_gwp}) \end{aligned}$$

(see comment at CW_h_nb)

$$\begin{aligned} SCW_{h_nb_gwp_3_1_1} &= AreaSharedCellarWall_{h_nb} * (SCW_{h_nb_A1A3_min_gwp} \\ &+ SCW_{h_nb_B4_min_gwp} + SCW_{h_nb_C3_min_gwp} + SCW_{h_nb_C4_min_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SCW_{h_nb_gwp_3_1_2} &= AreaSharedCellarWall_{h_nb} * (SCW_{h_nb_A1A3_max_gwp} \\ &+ SCW_{h_nb_B4_max_gwp} + SCW_{h_nb_C3_max_gwp} + SCW_{h_nb_C4_max_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SCW_{h_nb_gwp_3_1_3} &= AreaSharedCellarWall_{h_nb} * (SCW_{h_nb_A1A3_min_gwp} \\ &+ SCW_{h_nb_B4_min_gwp} + SCW_{h_nb_C3_min_gwp} + SCW_{h_nb_C4_min_gwp} \\ &+ SCW_{h_nb_D_min_gwp} + SCW_{h_nb_DofB4_min_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SCW_{h_nb_gwp_3_1_4} &= AreaSharedCellarWall_{h_nb} * (SCW_{h_nb_A1A3_max_gwp} \\ &+ SCW_{h_nb_B4_max_gwp} + SCW_{h_nb_C3_max_gwp} + SCW_{h_nb_C4_max_gwp} \\ &+ SCW_{h_nb_D_max_gwp} + SCW_{h_nb_DofB4_max_gwp}) \end{aligned}$$

(see comment at CW_h_nb)

$$\begin{aligned} SCW_{uh_nb_gwp_3_1_1} &= AreaSharedCellarWall_{uh_nb} * (SCW_{uh_nb_A1A3_min_gwp} \\ &+ SCW_{uh_nb_B4_min_gwp} + SCW_{uh_nb_C3_min_gwp} + SCW_{uh_nb_C4_min_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SCW_{uh_nb_gwp_3_1_2} &= AreaSharedCellarWall_{uh_nb} * (SCW_{uh_nb_A1A3_max_gwp} \\ &+ SCW_{uh_nb_B4_max_gwp} + SCW_{uh_nb_C3_max_gwp} + SCW_{uh_nb_C4_max_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SCW_{uh_nb_gwp_3_1_3} &= AreaSharedCellarWall_{uh_nb} * (SCW_{uh_nb_A1A3_min_gwp} \\ &+ SCW_{uh_nb_B4_min_gwp} + SCW_{uh_nb_C3_min_gwp} + SCW_{uh_nb_C4_min_gwp} \\ &+ SCW_{uh_nb_D_min_gwp} + SCW_{uh_nb_DofB4_min_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SCW_{uh_nb_gwp_3_1_4} &= AreaSharedCellarWall_{uh_nb} * (SCW_{uh_nb_A1A3_max_gwp} \\ &+ SCW_{uh_nb_B4_max_gwp} + SCW_{uh_nb_C3_max_gwp} + SCW_{uh_nb_C4_max_gwp} \\ &+ SCW_{uh_nb_D_max_gwp} + SCW_{uh_nb_DofB4_max_gwp}) \end{aligned}$$

(see comment at CW_h_nb)

$$FL_{old_gwp_3_1_1} = AreaFloor_{old} * (FL_{old_1_C3_min_gwp} + FL_{old_1_C4_min_gwp})$$

$$FL_{old_gwp_3_1_2} = AreaFloor_{old} * (FL_{old_1_C3_max_gwp} + FL_{old_1_C4_max_gwp})$$

$$\begin{aligned} FL_{old_gwp_3_1_3} &= AreaFloor_{old} * (FL_{old_1_C3_min_gwp} + FL_{old_1_C4_min_gwp} \\ &+ FL_{old_1_D_min_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FL_{old_gwp_3_1_4} &= AreaFloor_{old} * (FL_{old_1_C3_max_gwp} + FL_{old_1_C4_max_gwp} \\ &+ FL_{old_1_D_max_gwp}) \end{aligned}$$

(Here, you could differentiate between FLmas and FLwood, if it's necessary. But it must be checked that every relevant building age class has a value.)

$FL_nb_gwp_3_1_1 = AreaFloor_nb * (FLwood_nb_A1A3_min_gwp + FLwood_nb_B4_min_gwp + FLwood_nb_C3_min_gwp + FLwood_nb_C4_min_gwp)$

$FL_nb_gwp_3_1_2 = AreaFloor_nb * (FLwood_nb_A1A3_max_gwp + FLwood_nb_B4_max_gwp + FLwood_nb_C3_max_gwp + FLwood_nb_C4_max_gwp)$

$FL_nb_gwp_3_1_3 = AreaFloor_nb * (FLwood_nb_A1A3_min_gwp + FLwood_nb_B4_min_gwp + FLwood_nb_C3_min_gwp + FLwood_nb_C4_min_gwp + FLwood_nb_D_min_gwp + FLwood_nb_DofB4_min_gwp)$

$FL_nb_gwp_3_1_4 = AreaFloor_nb * (FLwood_nb_A1A3_max_gwp + FLwood_nb_B4_max_gwp + FLwood_nb_C3_max_gwp + FLwood_nb_C4_max_gwp + FLwood_nb_D_max_gwp + FLwood_nb_DofB4_max_gwp)$

(See comment at FRO_nb)

$TFL_old_gwp_3_1_1 = AreaTopFloor_old * (TFL_old_1_C3_min_gwp + TFL_old_1_C4_min_gwp)$

$TFL_old_gwp_3_1_2 = AreaTopFloor_old * (TFL_old_1_C3_max_gwp + TFL_old_1_C4_max_gwp)$

$TFL_old_gwp_3_1_3 = AreaTopFloor_old * (TFL_old_1_C3_min_gwp + TFL_old_1_C4_min_gwp + TFL_old_1_D_min_gwp)$

$TFL_old_gwp_3_1_4 = AreaTopFloor_old * (TFL_old_1_C3_max_gwp + TFL_old_1_C4_max_gwp + TFL_old_1_D_max_gwp)$

(Here, you could differentiate between TFLmas and TFLwood, if it's necessary. But it must be checked that every relevant building age class has a value.)

$CFL_old_gwp_3_1_1 = AreaCellarFloor_old * (CFL_old_1_C3_min_gwp + CFL_old_1_C4_min_gwp)$

$CFL_old_gwp_3_1_2 = AreaCellarFloor_old * (CFL_old_1_C3_max_gwp + CFL_old_1_C4_max_gwp)$

$CFL_old_gwp_3_1_3 = AreaCellarFloor_old * (CFL_old_1_C3_min_gwp + CFL_old_1_C4_min_gwp + CFL_old_1_D_min_gwp)$

$CFL_old_gwp_3_1_4 = AreaCellarFloor_old * (CFL_old_1_C3_max_gwp + CFL_old_1_C4_max_gwp + CFL_old_1_D_max_gwp)$

(Here, you could differentiate between CFLmas and CFLwood, if it's necessary. But it must be checked that every relevant building age class has a value.)

$CFL_nb_gwp_3_1_1 = AreaCellarFloor_nb * (CFLwood_nb_A1A3_min_gwp + CFLwood_nb_B4_min_gwp + CFLwood_nb_C3_min_gwp + CFLwood_nb_C4_min_gwp)$

$CFL_nb_gwp_3_1_2 = AreaCellarFloor_nb * (CFLwood_nb_A1A3_max_gwp + CFLwood_nb_B4_max_gwp + CFLwood_nb_C3_max_gwp + CFLwood_nb_C4_max_gwp)$

$CFL_nb_gwp_3_1_3 = AreaCellarFloor_nb * (CFLwood_nb_A1A3_min_gwp + CFLwood_nb_B4_min_gwp + CFLwood_nb_C3_min_gwp + CFLwood_nb_C4_min_gwp + CFLwood_nb_D_min_gwp + CFLwood_nb_DofB4_min_gwp)$

$CFL_nb_gwp_3_1_4 = AreaCellarFloor_nb * (CFLwood_nb_A1A3_max_gwp + CFLwood_nb_B4_max_gwp + CFLwood_nb_C3_max_gwp + CFLwood_nb_C4_max_gwp + CFLwood_nb_D_max_gwp + CFLwood_nb_DofB4_max_gwp)$

(See comment at FRO_nb)

$BP_old_gwp_3_1_1 = AreaBasePlate_old * (BP_old_1_C3_min_gwp + BP_old_1_C4_min_gwp)$

$BP_old_gwp_3_1_2 = AreaBasePlate_old * (BP_old_1_C3_max_gwp + BP_old_1_C4_max_gwp)$

$BP_old_gwp_3_1_3 = AreaBasePlate_old * (BP_old_1_C3_min_gwp + BP_old_1_C4_min_gwp + BP_old_1_D_min_gwp)$

$$BP_old_gwp_3_1_4 = AreaBasePlate_old * (BP_old_1_C3_max_gwp + BP_old_1_C4_max_gwp + BP_old_1_D_max_gwp)$$

$$BP_h_nb_gwp_3_1_1 = AreaBasePlate_h_nb * (BP_h_nb_A1A3_min_gwp + BP_h_nb_B4_min_gwp + BP_h_nb_C3_min_gwp + BP_h_nb_C4_min_gwp)$$

$$BP_h_nb_gwp_3_1_2 = AreaBasePlate_h_nb * (BP_h_nb_A1A3_max_gwp + BP_h_nb_B4_max_gwp + BP_h_nb_C3_max_gwp + BP_h_nb_C4_max_gwp)$$

$$BP_h_nb_gwp_3_1_3 = AreaBasePlate_h_nb * (BP_h_nb_A1A3_min_gwp + BP_h_nb_B4_min_gwp + BP_h_nb_C3_min_gwp + BP_h_nb_C4_min_gwp + BP_h_nb_D_min_gwp + BP_h_nb_DofB4_min_gwp)$$

$$BP_h_nb_gwp_3_1_4 = AreaBasePlate_h_nb * (BP_h_nb_A1A3_max_gwp + BP_h_nb_B4_max_gwp + BP_h_nb_C3_max_gwp + BP_h_nb_C4_max_gwp + BP_h_nb_D_max_gwp + BP_h_nb_DofB4_max_gwp)$$

$$BP_uh_nb_gwp_3_1_1 = AreaBasePlate_uh_nb * (BP_uh_nb_A1A3_min_gwp + BP_uh_nb_B4_min_gwp + BP_uh_nb_C3_min_gwp + BP_uh_nb_C4_min_gwp)$$

$$BP_uh_nb_gwp_3_1_2 = AreaBasePlate_uh_nb * (BP_uh_nb_A1A3_max_gwp + BP_uh_nb_B4_max_gwp + BP_uh_nb_C3_max_gwp + BP_uh_nb_C4_max_gwp)$$

$$BP_uh_nb_gwp_3_1_3 = AreaBasePlate_uh_nb * (BP_uh_nb_A1A3_min_gwp + BP_uh_nb_B4_min_gwp + BP_uh_nb_C3_min_gwp + BP_uh_nb_C4_min_gwp + BP_uh_nb_D_min_gwp + BP_uh_nb_DofB4_min_gwp)$$

$$BP_uh_nb_gwp_3_1_4 = AreaBasePlate_uh_nb * (BP_uh_nb_A1A3_max_gwp + BP_uh_nb_B4_max_gwp + BP_uh_nb_C3_max_gwp + BP_uh_nb_C4_max_gwp + BP_uh_nb_D_max_gwp + BP_uh_nb_DofB4_max_gwp)$$

$$F_old_gwp_3_1_1 = AreaFoundation_old * (F_old_1_C3_min_gwp + F_old_1_C4_min_gwp)$$

$$F_old_gwp_3_1_2 = AreaFoundation_old * (F_old_1_C3_max_gwp + F_old_1_C4_max_gwp)$$

$$F_old_gwp_3_1_3 = AreaFoundation_old * (F_old_1_C3_min_gwp + F_old_1_C4_min_gwp + F_old_1_D_min_gwp)$$

$$F_old_gwp_3_1_4 = AreaFoundation_old * (F_old_1_C3_max_gwp + F_old_1_C4_max_gwp + F_old_1_D_max_gwp)$$

$$W_old_gwp_3_1_1 = AreaWindow_old * (W_old_1_C3_min_gwp + W_old_1_C4_min_gwp)$$

$$W_old_gwp_3_1_2 = AreaWindow_old * (W_old_1_C3_max_gwp + W_old_1_C4_max_gwp)$$

$$W_old_gwp_3_1_3 = AreaWindow_old * (W_old_1_C3_min_gwp + W_old_1_C4_min_gwp + W_old_1_D_min_gwp)$$

$$W_old_gwp_3_1_4 = AreaWindow_old * (W_old_1_C3_max_gwp + W_old_1_C4_max_gwp + W_old_1_D_max_gwp)$$

(Here, you could differentiate between $Walu_old$, $Walu_nb$, $Wwood_old$, $Wwood_nb$, $Wplas_old$ and $Wplas_nb$ if it's necessary. But it must be checked that every relevant building age class has a value.)

$$W_nb_gwp_3_1_1 = AreaWindow_nb * (W_nb_A1A3_min_gwp + W_nb_B4_min_gwp + W_nb_C3_min_gwp + W_nb_C4_min_gwp)$$

$$W_nb_gwp_3_1_2 = AreaWindow_nb * (W_nb_A1A3_max_gwp + W_nb_B4_max_gwp + W_nb_C3_max_gwp + W_nb_C4_max_gwp)$$

$$W_nb_gwp_3_1_3 = AreaWindow_nb * (W_nb_A1A3_min_gwp + W_nb_B4_min_gwp + W_nb_C3_min_gwp + W_nb_C4_min_gwp + W_nb_D_min_gwp + W_nb_DofB4_min_gwp)$$

$$W_nb_gwp_3_1_4 = W_nb_gwp_3_2_4 = AreaWindow_nb * (W_nb_A1A3_max_gwp \\ + W_nb_B4_max_gwp + W_nb_C3_max_gwp + W_nb_C4_max_gwp + W_nb_D_max_gwp \\ + W_nb_DofB4_max_gwp)$$

(Here, you could differentiate between $walu_nb$, $wwood_nb$ and $wplas_nb$ if it's necessary. But it must be checked that every relevant building age class has a value.)

Description:

A variable or value, which is highlighted in blue is newly defined in this scenario.

Additional comments are highlighted in *green and italic*.

Tabelle A. 98: Logik der Kennwertberechnung Szenario 3.2, Abriss und Ersatzneubau in Massivbauweise; eigene Darstellung in englischer Sprache

After the determination of the building construction areas, the environmental values of every building construction of each residential building can be calculated. The next lines show the calculation of the GWP of scenario 3.2.1 to 3.2.4 for buildings in building age class 1. The other building age classes as well as PET and PENRT aren't shown in detail, but they are calculated in the same way.

If SC == 3.2.1 or if SC == 3.2.2 or if SC == 3.2.3 or if SC == 3.2.4 and
if BAC == BAC1 then

PRO_old_gwp_3_2_1 = AreaPitchedRoof_old * (PRO_old_1_C3_min_gwp
+ PRO_old_1_C4_min_gwp)
PRO_old_gwp_3_2_2 = AreaPitchedRoof_old * (PRO_old_1_C3_max_gwp
+ PRO_old_1_C4_max_gwp)
PRO_old_gwp_3_2_3 = AreaPitchedRoof_old * (PRO_old_1_C3_min_gwp
+ PRO_old_1_C4_min_gwp + PRO_old_1_D_min_gwp)
PRO_old_gwp_3_2_4 = AreaPitchedRoof_old * (PRO_old_1_C3_max_gwp
+ PRO_old_1_C4_max_gwp + PRO_old_1_D_max_gwp)
*(For PET and BAC3: PRO_old_pet_3_2_1 = AreaPitchedRoof_old * (PRO_old_3_C3_min_pet
+ PRO_old_3_C4_min_pet);
for PENRT: PRO_old_penrt_3_2_1 = AreaPitchedRoof_old * (PRO_old_3_C3_min_penrt
+ PRO_old_3_C4_min_penrt) etc.)*

FRO_old_gwp_3_2_1 = AreaFlatRoof_old * (FRO_old_1_C3_min_gwp
+ FRO_old_1_C4_min_gwp)
FRO_old_gwp_3_2_2 = AreaFlatRoof_old * (FRO_old_1_C3_max_gwp
+ FRO_old_1_C4_max_gwp)
FRO_old_gwp_3_2_3 = AreaFlatRoof_old * (FRO_old_1_C3_min_gwp
+ FRO_old_1_C4_min_gwp + FRO_old_1_D_min_gwp)
FRO_old_gwp_3_2_4 = AreaFlatRoof_old * (FRO_old_1_C3_max_gwp
+ FRO_old_1_C4_max_gwp + FRO_old_1_D_max_gwp)
*(Here, you could differentiate between FROmas_old and FROwood_old if
it's necessary. But it must be checked that every relevant building age
class has a value.)*

FRO_nb_gwp_3_2_1 = AreaFlatRoof_nb * (FROmas_nb_A1A3_min_gwp
+ FROmas_nb_B4_min_gwp + FROmas_nb_C3_min_gwp + FROmas_nb_C4_min_gwp)
FRO_nb_gwp_3_2_2 = AreaFlatRoof_nb * (FROmas_nb_A1A3_max_gwp
+ FROmas_nb_B4_max_gwp + FROmas_nb_C3_max_gwp + FROmas_nb_C4_max_gwp)
FRO_nb_gwp_3_2_3 = AreaFlatRoof_nb * (FROmas_nb_A1A3_min_gwp
+ FROmas_nb_B4_min_gwp + FROmas_nb_C3_min_gwp + FROmas_nb_C4_min_gwp
+ FROmas_nb_D_min_gwp + FROmas_nb_DofB4_min_gwp)
FRO_nb_gwp_3_2_4 = AreaFlatRoof_nb * (FROmas_nb_A1A3_max_gwp
+ FROmas_nb_B4_max_gwp + FROmas_nb_C3_max_gwp + FROmas_nb_C4_max_gwp
+ FROmas_nb_D_max_gwp + FROmas_nb_DofB4_max_gwp)
*(In this scenario the flat roof are always built with reinforced concrete
(FROmas_rc).)*

EW_old_gwp_3_2_1 = AreaExteriorWall_old * (EW_old_1_C3_min_gwp
+ EW_old_1_C4_min_gwp)

$$EW_old_gwp_3_2_2 = AreaExteriorWall_old * (EW_old_1_C3_max_gwp + EW_old_1_C4_max_gwp)$$

$$EW_old_gwp_3_2_3 = AreaExteriorWall_old * (EW_old_1_C3_min_gwp + EW_old_1_C4_min_gwp + EW_old_1_D_min_gwp)$$

$$EW_old_gwp_3_2_4 = AreaExteriorWall_old * (EW_old_1_C3_max_gwp + EW_old_1_C4_max_gwp + EW_old_1_D_max_gwp)$$

(Here, you could differentiate between $EWmas_old$, $EW2shelled_old$, $EWcwf_old$ and $EWwood_old$, if it's necessary. But it must be checked that every relevant building age class has a value.)

$$EW_nb_gwp_3_2_1 = AreaExteriorWall_nb * (EWmas_nb_A1A3_min_gwp + EWmas_nb_B4_min_gwp + EWmas_nb_C3_min_gwp + EWmas_nb_C4_min_gwp)$$

$$EW_nb_gwp_3_2_2 = AreaExteriorWall_nb * (EWmas_nb_A1A3_max_gwp + EWmas_nb_B4_max_gwp + EWmas_nb_C3_max_gwp + EWmas_nb_C4_max_gwp)$$

$$EW_nb_gwp_3_2_3 = AreaExteriorWall_nb * (EWmas_nb_A1A3_min_gwp + EWmas_nb_B4_min_gwp + EWmas_nb_C3_min_gwp + EWmas_nb_C4_min_gwp + EWmas_nb_D_min_gwp + EWmas_nb_DofB4_min_gwp)$$

$$EW_nb_gwp_3_2_4 = AreaExteriorWall_nb * (EWmas_nb_A1A3_max_gwp + EWmas_nb_B4_max_gwp + EWmas_nb_C3_max_gwp + EWmas_nb_C4_max_gwp + EWmas_nb_D_max_gwp + EWmas_nb_DofB4_max_gwp)$$

(In this scenario four massive construction types are considered: construction with brick ($EWmas_br$), lime sand brick ($EWmas_lsb$), gas concrete ($EWmas_gs$) and reinforced concrete ($EWmas_rc$). If you want to, you could only choose only a part of them.)

$$SW_old_gwp_3_2_1 = AreaSharedWall_old * (SW_old_1_C3_min_gwp + SW_old_1_C4_min_gwp)$$

$$SW_old_gwp_3_2_2 = AreaSharedWall_old * (SW_old_1_C3_max_gwp + SW_old_1_C4_max_gwp)$$

$$SW_old_gwp_3_2_3 = AreaSharedWall_old * (SW_old_1_C3_min_gwp + SW_old_1_C4_min_gwp + SW_old_1_D_min_gwp)$$

$$SW_old_gwp_3_2_4 = AreaSharedWall_old * (SW_old_1_C3_max_gwp + SW_old_1_C4_max_gwp + SW_old_1_D_max_gwp)$$

(Here, you could differentiate between $SWmas_old$, $SW2shelled_old$, $SWcwf_old$ and $SWwood_old$ if it's necessary. But it must be checked that every relevant building age class has a value.)

$$SW_nb_gwp_3_2_1 = AreaSharedWall_nb * (SWmas_nb_A1A3_min_gwp + SWmas_nb_B4_min_gwp + SWmas_nb_C3_min_gwp + SWmas_nb_C4_min_gwp)$$

$$SW_nb_gwp_3_2_2 = AreaSharedWall_nb * (SWmas_nb_A1A3_max_gwp + SWmas_nb_B4_max_gwp + SWmas_nb_C3_max_gwp + SWmas_nb_C4_max_gwp)$$

$$SW_nb_gwp_3_2_3 = AreaSharedWall_nb * (SWmas_nb_A1A3_min_gwp + SWmas_nb_B4_min_gwp + SWmas_nb_C3_min_gwp + SWmas_nb_C4_min_gwp + SWmas_nb_D_min_gwp + SWmas_nb_DofB4_min_gwp)$$

$$SW_nb_gwp_3_2_4 = AreaSharedWall_nb * (SWmas_nb_A1A3_max_gwp + SWmas_nb_B4_max_gwp + SWmas_nb_C3_max_gwp + SWmas_nb_C4_max_gwp + SWmas_nb_D_max_gwp + SWmas_nb_DofB4_max_gwp)$$

(See comment at EW_nb)

$$IW_old_gwp_3_2_1 = AreaInteriorWall_old * (IW_old_1_C3_min_gwp + IW_old_1_C4_min_gwp)$$

$IW_old_gwp_3_2_2 = AreaInteriorWall_old * (IW_old_1_C3_max_gwp + IW_old_1_C4_max_gwp)$

$IW_old_gwp_3_2_3 = AreaInteriorWall_old * (IW_old_1_C3_min_gwp + IW_old_1_C4_min_gwp + IW_old_1_D_min_gwp)$

$IW_old_gwp_3_2_4 = AreaInteriorWall_old * (IW_old_1_C3_max_gwp + IW_old_1_C4_max_gwp + IW_old_1_D_max_gwp)$

(Here, you could differentiate between IWmas_old and IWwood_old if it's necessary. But it must be checked that every relevant building age class has a value.)

$IW_nb_gwp_3_2_1 = AreaInteriorWall_nb * (IWmas_nb_A1A3_min_gwp + IWmas_nb_B4_min_gwp + IWmas_nb_C3_min_gwp + IWmas_nb_C4_min_gwp)$

$IW_nb_gwp_3_2_2 = AreaInteriorWall_nb * (IWmas_nb_A1A3_max_gwp + IWmas_nb_B4_max_gwp + IWmas_nb_C3_max_gwp + IWmas_nb_C4_max_gwp)$

$IW_nb_gwp_3_2_3 = AreaInteriorWall_nb * (IWmas_nb_A1A3_min_gwp + IWmas_nb_B4_min_gwp + IWmas_nb_C3_min_gwp + IWmas_nb_C4_min_gwp + IWmas_nb_D_min_gwp + IWmas_nb_DofB4_min_gwp)$

$IW_nb_gwp_3_2_4 = AreaInteriorWall_nb * (IWmas_nb_A1A3_max_gwp + IWmas_nb_B4_max_gwp + IWmas_nb_C3_max_gwp + IWmas_nb_C4_max_gwp + IWmas_nb_D_max_gwp + IWmas_nb_DofB4_max_gwp)$

(See comment at EW_nb)

$CW_old_gwp_3_2_1 = AreaCellarWall_old * (CW_old_1_C3_min_gwp + CW_old_1_C4_min_gwp)$

$CW_old_gwp_3_2_2 = AreaCellarWall_old * (CW_old_1_C3_max_gwp + CW_old_1_C4_max_gwp)$

$CW_old_gwp_3_2_3 = AreaCellarWall_old * (CW_old_1_C3_min_gwp + CW_old_1_C4_min_gwp + CW_old_1_D_min_gwp)$

$CW_old_gwp_3_2_4 = AreaCellarWall_old * (CW_old_1_C3_max_gwp + CW_old_1_C4_max_gwp + CW_old_1_D_max_gwp)$

$CW_h_nb_gwp_3_2_1 = AreaCellarWall_h_nb * (CW_h_nb_A1A3_min_gwp + CW_h_nb_B4_min_gwp + CW_h_nb_C3_min_gwp + CW_h_nb_C4_min_gwp)$

$CW_h_nb_gwp_3_2_2 = AreaCellarWall_h_nb * (CW_h_nb_A1A3_max_gwp + CW_h_nb_B4_max_gwp + CW_h_nb_C3_max_gwp + CW_h_nb_C4_max_gwp)$

$CW_h_nb_gwp_3_2_3 = AreaCellarWall_h_nb * (CW_h_nb_A1A3_min_gwp + CW_h_nb_B4_min_gwp + CW_h_nb_C3_min_gwp + CW_h_nb_C4_min_gwp + CW_h_nb_D_min_gwp + CW_h_nb_DofB4_min_gwp)$

$CW_h_nb_gwp_3_2_4 = AreaCellarWall_h_nb * (CW_h_nb_A1A3_max_gwp + CW_h_nb_B4_max_gwp + CW_h_nb_C3_max_gwp + CW_h_nb_C4_max_gwp + CW_h_nb_D_max_gwp + CW_h_nb_DofB4_max_gwp)$

(In this scenario four massive construction types are considered: construction with brick (CW_h_br), Lime sand brick (CW_h_lsb), gas concrete (CW_h_gs) and reinforced concrete (CW_h_rc). If you want to, you could only choose only a part of them.)

$CW_uh_nb_gwp_3_2_1 = AreaCellarWall_uh_nb * (CW_uh_nb_A1A3_min_gwp + CW_uh_nb_B4_min_gwp + CW_uh_nb_C3_min_gwp + CW_uh_nb_C4_min_gwp)$

$CW_uh_nb_gwp_3_2_2 = AreaCellarWall_uh_nb * (CW_uh_nb_A1A3_max_gwp + CW_uh_nb_B4_max_gwp + CW_uh_nb_C3_max_gwp + CW_uh_nb_C4_max_gwp)$

$$\begin{aligned} CW_{uh_nb_gwp_3_2_3} &= AreaCellarWall_{uh_nb} * (CW_{uh_nb_A1A3_min_gwp} \\ &+ CW_{uh_nb_B4_min_gwp} + CW_{uh_nb_C3_min_gwp} + CW_{uh_nb_C4_min_gwp} \\ &+ CW_{uh_nb_D_min_gwp} + CW_{uh_nb_DofB4_min_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CW_{uh_nb_gwp_3_2_4} &= AreaCellarWall_{uh_nb} * (CW_{uh_nb_A1A3_max_gwp} \\ &+ CW_{uh_nb_B4_max_gwp} + CW_{uh_nb_C3_max_gwp} + CW_{uh_nb_C4_max_gwp} \\ &+ CW_{uh_nb_D_max_gwp} + CW_{uh_nb_DofB4_max_gwp}) \end{aligned}$$

(See comment at CW_h_nb)

$$\begin{aligned} SCW_{old_gwp_3_2_1} &= AreaSharedCellarWall_{old} * (SCW_{old_1_C3_min_gwp} \\ &+ SCW_{old_1_C4_min_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SCW_{old_gwp_3_2_2} &= AreaSharedCellarWall_{old} * (SCW_{old_1_C3_max_gwp} \\ &+ SCW_{old_1_C4_max_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SCW_{old_gwp_3_2_3} &= AreaSharedCellarWall_{old} * (SCW_{old_1_C3_min_gwp} \\ &+ SCW_{old_1_C4_min_gwp} + SCW_{old_1_D_min_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SCW_{old_gwp_3_2_4} &= AreaSharedCellarWall_{old} * (SCW_{old_1_C3_max_gwp} \\ &+ SCW_{old_1_C4_max_gwp} + SCW_{old_1_D_max_gwp}) \end{aligned}$$

(Here, you could differentiate between SWmas_old, SW2shelled_old, SWcwf_old and SWwood_old if it's necessary. But it must be checked that every relevant building age class has a value.)

$$\begin{aligned} SCW_{h_nb_gwp_3_2_1} &= AreaSharedCellarWall_{h_nb} * (SCW_{h_nb_A1A3_min_gwp} \\ &+ SCW_{h_nb_B4_min_gwp} + SCW_{h_nb_C3_min_gwp} + SCW_{h_nb_C4_min_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SCW_{h_nb_gwp_3_2_2} &= AreaSharedCellarWall_{h_nb} * (SCW_{h_nb_A1A3_max_gwp} \\ &+ SCW_{h_nb_B4_max_gwp} + SCW_{h_nb_C3_max_gwp} + SCW_{h_nb_C4_max_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SCW_{h_nb_gwp_3_2_3} &= AreaSharedCellarWall_{h_nb} * (SCW_{h_nb_A1A3_min_gwp} \\ &+ SCW_{h_nb_B4_min_gwp} + SCW_{h_nb_C3_min_gwp} + SCW_{h_nb_C4_min_gwp} \\ &+ SCW_{h_nb_D_min_gwp} + SCW_{h_nb_DofB4_min_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SCW_{h_nb_gwp_3_2_4} &= AreaSharedCellarWall_{h_nb} * (SCW_{h_nb_A1A3_max_gwp} \\ &+ SCW_{h_nb_B4_max_gwp} + SCW_{h_nb_C3_max_gwp} + SCW_{h_nb_C4_max_gwp} \\ &+ SCW_{h_nb_D_max_gwp} + SCW_{h_nb_DofB4_max_gwp}) \end{aligned}$$

(See comment at CW_h_nb)

$$\begin{aligned} SCW_{uh_nb_gwp_3_2_1} &= AreaSharedCellarWall_{uh_nb} * (SCW_{uh_nb_A1A3_min_gwp} \\ &+ SCW_{uh_nb_B4_min_gwp} + SCW_{uh_nb_C3_min_gwp} + SCW_{uh_nb_C4_min_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SCW_{uh_nb_gwp_3_2_2} &= AreaSharedCellarWall_{uh_nb} * (SCW_{uh_nb_A1A3_max_gwp} \\ &+ SCW_{uh_nb_B4_max_gwp} + SCW_{uh_nb_C3_max_gwp} + SCW_{uh_nb_C4_max_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SCW_{uh_nb_gwp_3_2_3} &= AreaSharedCellarWall_{uh_nb} * (SCW_{uh_nb_A1A3_min_gwp} \\ &+ SCW_{uh_nb_B4_min_gwp} + SCW_{uh_nb_C3_min_gwp} + SCW_{uh_nb_C4_min_gwp} \\ &+ SCW_{uh_nb_D_min_gwp} + SCW_{uh_nb_DofB4_min_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SCW_{uh_nb_gwp_3_2_4} &= AreaSharedCellarWall_{uh_nb} * (SCW_{uh_nb_A1A3_max_gwp} \\ &+ SCW_{uh_nb_B4_max_gwp} + SCW_{uh_nb_C3_max_gwp} + SCW_{uh_nb_C4_max_gwp} \\ &+ SCW_{uh_nb_D_max_gwp} + SCW_{uh_nb_DofB4_max_gwp}) \end{aligned}$$

(See comment at CW_h_nb)

$$FL_{old_gwp_3_2_1} = AreaFloor_{old} * (FL_{old_1_C3_min_gwp} + FL_{old_1_C4_min_gwp})$$

$$FL_{old_gwp_3_2_2} = AreaFloor_{old} * (FL_{old_1_C3_max_gwp} + FL_{old_1_C4_max_gwp})$$

$$\begin{aligned} FL_{old_gwp_3_2_3} &= AreaFloor_{old} * (FL_{old_1_C3_min_gwp} + FL_{old_1_C4_min_gwp} \\ &+ FL_{old_1_D_min_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FL_{old_gwp_3_2_4} &= AreaFloor_{old} * (FL_{old_1_C3_max_gwp} + FL_{old_1_C4_max_gwp} \\ &+ FL_{old_1_D_max_gwp}) \end{aligned}$$

A.10 Berechnungslogiken der ökologischen Kennwerte für die LCA auf Quartiersebene

(Here, you could differentiate between FLmas and FLwood, if it's necessary. But it must be checked that every relevant building age class has a value.)

$FL_nb_gwp_3_2_1 = AreaFloor_nb * (FLmas_nb_A1A3_min_gwp + FLmas_nb_B4_min_gwp + FLmas_nb_C3_min_gwp + FLmas_nb_C4_min_gwp)$

$FL_nb_gwp_3_2_2 = AreaFloor_nb * (FLmas_nb_A1A3_max_gwp + FLmas_nb_B4_max_gwp + FLmas_nb_C3_max_gwp + FLmas_nb_C4_max_gwp)$

$FL_nb_gwp_3_2_3 = AreaFloor_nb * (FLmas_nb_A1A3_min_gwp + FLmas_nb_B4_min_gwp + FLmas_nb_C3_min_gwp + FLmas_nb_C4_min_gwp + FLmas_nb_D_min_gwp + FLmas_nb_DofB4_min_gwp)$

$FL_nb_gwp_3_2_4 = AreaFloor_nb * (FLmas_nb_A1A3_max_gwp + FLmas_nb_B4_max_gwp + FLmas_nb_C3_max_gwp + FLmas_nb_C4_max_gwp + FLmas_nb_D_max_gwp + FLmas_nb_DofB4_max_gwp)$

(See comment at FRO_nb)

$TFL_old_gwp_3_2_1 = AreaTopFloor_old * (TFL_old_1_C3_min_gwp + TFL_old_1_C4_min_gwp)$

$TFL_old_gwp_3_2_2 = AreaTopFloor_old * (TFL_old_1_C3_max_gwp + TFL_old_1_C4_max_gwp)$

$TFL_old_gwp_3_2_3 = AreaTopFloor_old * (TFL_old_1_C3_min_gwp + TFL_old_1_C4_min_gwp + TFL_old_1_D_min_gwp)$

$TFL_old_gwp_3_2_4 = AreaTopFloor_old * (TFL_old_1_C3_max_gwp + TFL_old_1_C4_max_gwp + TFL_old_1_D_max_gwp)$

(Here, you could differentiate between TFLmas and TFLwood, if it's necessary. But it must be checked that every relevant building age class has a value.)

$CFL_old_gwp_3_2_1 = AreaCellarFloor_old * (CFL_old_1_C3_min_gwp + CFL_old_1_C4_min_gwp)$

$CFL_old_gwp_3_2_2 = AreaCellarFloor_old * (CFL_old_1_C3_max_gwp + CFL_old_1_C4_max_gwp)$

$CFL_old_gwp_3_2_3 = AreaCellarFloor_old * (CFL_old_1_C3_min_gwp + CFL_old_1_C4_min_gwp + CFL_old_1_D_min_gwp)$

$CFL_old_gwp_3_2_4 = AreaCellarFloor_old * (CFL_old_1_C3_max_gwp + CFL_old_1_C4_max_gwp + CFL_old_1_D_max_gwp)$

(Here, you could differentiate between CFLmas_old and CFLwood_old if it's necessary. But it must be checked that every relevant building age class has a value.)

$CFL_nb_gwp_3_2_1 = AreaCellarFloor_nb * (CFLmas_nb_A1A3_min_gwp + CFLmas_nb_B4_min_gwp + CFLmas_nb_C3_min_gwp + CFLmas_nb_C4_min_gwp)$

$CFL_nb_gwp_3_2_2 = AreaCellarFloor_nb * (CFLmas_nb_A1A3_max_gwp + CFLmas_nb_B4_max_gwp + CFLmas_nb_C3_max_gwp + CFLmas_nb_C4_max_gwp)$

$CFL_nb_gwp_3_2_3 = AreaCellarFloor_nb * (CFLmas_nb_A1A3_min_gwp + CFLmas_nb_B4_min_gwp + CFLmas_nb_C3_min_gwp + CFLmas_nb_C4_min_gwp + CFLmas_nb_D_min_gwp + CFLmas_nb_DofB4_min_gwp)$

$CFL_nb_gwp_3_2_4 = AreaCellarFloor_nb * (CFLmas_nb_A1A3_max_gwp + CFLmas_nb_B4_max_gwp + CFLmas_nb_C3_max_gwp + CFLmas_nb_C4_max_gwp + CFLmas_nb_D_max_gwp + CFLmas_nb_DofB4_max_gwp)$

(See comment at FRO_nb)

$$\begin{aligned} \text{BP_old_gwp_3_2_1} &= \text{AreaBasePlate_old} * (\text{BP_old_1_C3_min_gwp} + \text{BP_old_1_C4_min_gwp}) \\ \text{BP_old_gwp_3_2_2} &= \text{AreaBasePlate_old} * (\text{BP_old_1_C3_max_gwp} + \text{BP_old_1_C4_max_gwp}) \\ \text{BP_old_gwp_3_2_3} &= \text{AreaBasePlate_old} * (\text{BP_old_1_C3_min_gwp} + \text{BP_old_1_C4_min_gwp} \\ &+ \text{BP_old_1_D_min_gwp}) \\ \text{BP_old_gwp_3_2_4} &= \text{AreaBasePlate_old} * (\text{BP_old_1_C3_max_gwp} + \text{BP_old_1_C4_max_gwp} \\ &+ \text{BP_old_1_D_max_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BP_h_nb_gwp_3_2_1} &= \text{AreaBasePlate_h_nb} * (\text{BP_h_nb_A1A3_min_gwp} \\ &+ \text{BP_h_nb_B4_min_gwp} + \text{BP_h_nb_C3_min_gwp} + \text{BP_h_nb_C4_min_gwp}) \\ \text{BP_h_nb_gwp_3_2_2} &= \text{AreaBasePlate_h_nb} * (\text{BP_h_nb_A1A3_max_gwp} \\ &+ \text{BP_h_nb_B4_max_gwp} + \text{BP_h_nb_C3_max_gwp} + \text{BP_h_nb_C4_max_gwp}) \\ \text{BP_h_nb_gwp_3_2_3} &= \text{AreaBasePlate_h_nb} * (\text{BP_h_nb_A1A3_min_gwp} \\ &+ \text{BP_h_nb_B4_min_gwp} + \text{BP_h_nb_C3_min_gwp} + \text{BP_h_nb_C4_min_gwp} \\ &+ \text{BP_h_nb_D_min_gwp} + \text{BP_h_nb_DofB4_min_gwp}) \\ \text{BP_h_nb_gwp_3_2_4} &= \text{AreaBasePlate_h_nb} * (\text{BP_h_nb_A1A3_max_gwp} \\ &+ \text{BP_h_nb_B4_max_gwp} + \text{BP_h_nb_C3_max_gwp} + \text{BP_h_nb_C4_max_gwp} \\ &+ \text{BP_h_nb_D_max_gwp} + \text{BP_h_nb_DofB4_max_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BP_uh_nb_gwp_3_2_1} &= \text{AreaBasePlate_uh_nb} * (\text{BP_uh_nb_A1A3_min_gwp} \\ &+ \text{BP_uh_nb_B4_min_gwp} + \text{BP_uh_nb_C3_min_gwp} + \text{BP_uh_nb_C4_min_gwp}) \\ \text{BP_uh_nb_gwp_3_2_2} &= \text{AreaBasePlate_uh_nb} * (\text{BP_uh_nb_A1A3_max_gwp} \\ &+ \text{BP_uh_nb_B4_max_gwp} + \text{BP_uh_nb_C3_max_gwp} + \text{BP_uh_nb_C4_max_gwp}) \\ \text{BP_uh_nb_gwp_3_2_3} &= \text{AreaBasePlate_uh_nb} * (\text{BP_uh_nb_A1A3_min_gwp} \\ &+ \text{BP_uh_nb_B4_min_gwp} + \text{BP_uh_nb_C3_min_gwp} + \text{BP_uh_nb_C4_min_gwp} \\ &+ \text{BP_uh_nb_D_min_gwp} + \text{BP_uh_nb_DofB4_min_gwp}) \\ \text{BP_uh_nb_gwp_3_2_4} &= \text{AreaBasePlate_uh_nb} * (\text{BP_uh_nb_A1A3_max_gwp} \\ &+ \text{BP_uh_nb_B4_max_gwp} + \text{BP_uh_nb_C3_max_gwp} + \text{BP_uh_nb_C4_max_gwp} \\ &+ \text{BP_uh_nb_D_max_gwp} + \text{BP_uh_nb_DofB4_max_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{F_old_gwp_3_2_1} &= \text{AreaFoundation_old} * (\text{F_old_1_C3_min_gwp} + \text{F_old_1_C4_min_gwp}) \\ \text{F_old_gwp_3_2_2} &= \text{AreaFoundation_old} * (\text{F_old_1_C3_max_gwp} + \text{F_old_1_C4_max_gwp}) \\ \text{F_old_gwp_3_2_3} &= \text{AreaFoundation_old} * (\text{F_old_1_C3_min_gwp} + \text{F_old_1_C4_min_gwp} \\ &+ \text{F_old_1_D_min_gwp}) \\ \text{F_old_gwp_3_2_4} &= \text{AreaFoundation_old} * (\text{F_old_1_C3_max_gwp} + \text{F_old_1_C4_max_gwp} \\ &+ \text{F_old_1_D_max_gwp}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{W_old_gwp_3_2_1} &= \text{AreaWindow_old} * (\text{W_old_1_C3_min_gwp} + \text{W_old_1_C4_min_gwp}) \\ \text{W_old_gwp_3_2_2} &= \text{AreaWindow_old} * (\text{W_old_1_C3_max_gwp} + \text{W_old_1_C4_max_gwp}) \\ \text{W_old_gwp_3_2_3} &= \text{AreaWindow_old} * (\text{W_old_1_C3_min_gwp} + \text{W_old_1_C4_min_gwp} \\ &+ \text{W_old_1_D_min_gwp}) \\ \text{W_old_gwp_3_2_4} &= \text{AreaWindow_old} * (\text{W_old_1_C3_max_gwp} + \text{W_old_1_C4_max_gwp} \\ &+ \text{W_old_1_D_max_gwp}) \end{aligned}$$

(Here, you could differentiate between Walu_old , Walu_nb , Wwood_old , Wwood_nb , Wplas_old and Wplas_nb if it's necessary. But it must be checked that every relevant building age class has a value.)

$$\begin{aligned} \text{W_nb_gwp_3_2_1} &= \text{AreaWindow_nb} * (\text{W_nb_A1A3_min_gwp} + \text{W_nb_B4_min_gwp} \\ &+ \text{W_nb_C3_min_gwp} + \text{W_nb_C4_min_gwp}) \end{aligned}$$

A.10 Berechnungslogiken der ökologischen Kennwerte für die LCA auf Quartiersebene

$W_nb_gwp_3_2_2 = AreaWindow_nb * (W_nb_A1A3_max_gwp + W_nb_B4_max_gwp + W_nb_C3_max_gwp + W_nb_C4_max_gwp)$

$W_nb_gwp_3_2_3 = AreaWindow_nb * (W_nb_A1A3_min_gwp + W_nb_B4_min_gwp + W_nb_C3_min_gwp + W_nb_C4_min_gwp + W_nb_D_min_gwp + W_nb_DofB4_min_gwp)$

$W_nb_gwp_3_2_4 = AreaWindow_nb * (W_nb_A1A3_max_gwp + W_nb_B4_max_gwp + W_nb_C3_max_gwp + W_nb_C4_max_gwp + W_nb_D_max_gwp + W_nb_DofB4_max_gwp)$

(Here, you could differentiate between W_{lu_nb} , W_{wood_nb} and W_{plas_nb} if it's necessary. But it must be checked that every relevant building age class has a value.)

Description:

A variable or value, which is highlighted in **blue** is newly defined in this scenario.

Additional comments are highlighted in *green and italic*.
