



Wirtschaftliche Anreize und Umsetzbarkeit nachhaltiger Sanierungen von kommunalen Gebäuden am Beispiel der Schlossbachschule Bonn

Wissenschaftliche Arbeit zur Erlangung des Grades
Master of Science

an der TUM School of Engineering and Design der Technischen Universität
München.

Betreut von Prof. Dr.-Ing. Werner Lang
Leander Präger , M.Sc.
Jonathan Woytowicz , M.Sc.
Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen

Eingereicht von Julia Stein
Affeckinger Str. 60
93309 Kelheim

Eingereicht am München, den 14.12.2024

Vereinbarung

zwischen

der Technischen Universität München, vertreten durch ihren Präsidenten,
Arcisstraße 21, 80333 München

hier handelnd der Lehrstuhl für Energieeffizientes und Nachhaltiges Planen und Bauen
(Univ.-Prof. Dr.-Ing. W. Lang), Arcisstr. 21, 80333 München

– nachfolgend TUM –

und

Frau Julia Stein
Affeckinger Str. 60
93309 Kelheim

– nachfolgend Autorin –

Die Autorin wünscht, dass die von ihr an der TUM erstellte Masterarbeit mit dem Titel

„Wirtschaftliche Anreize und Umsetzbarkeit nachhaltiger Sanierungen von kommunalen
Gebäuden am Beispiel der Schlossbachschule Bonn“

auf mediaTUM und der Webseite des Lehrstuhls für Energieeffizientes und
Nachhaltiges Planen und Bauen mit dem Namen der Verfasserin / des Verfassers, dem
Titel der Arbeit, den Betreuer:innen und dem Erscheinungsjahr genannt werden darf.

in Bibliotheken der TUM, einschließlich mediaTUM und die Präsenzbibliothek des
Lehrstuhls für Energieeffizientes und Nachhaltiges Planen und Bauen, Studierenden
und Besucher:innen zugänglich gemacht und veröffentlicht werden darf. Dies schließt
auch Inhalte von Abschlusspräsentationen ein.

mit einem Sperrvermerk versehen und nicht an Dritte weitergegeben wird.

(Zutreffendes bitte ankreuzen)

Vereinbarung

Zu diesem Zweck überträgt die Autorin der TUM zeitlich und örtlich unbefristet das nichtausschließliche Nutzungs- und Veröffentlichungsrecht an der Masterarbeit.

Die Autorin versichert, dass sie/er alleinige(r) Inhaber(in) aller Rechte an der Masterarbeit ist und der weltweiten Veröffentlichung keine Rechte Dritter entgegenstehen, bspw. an Abbildungen, beschränkende Absprachen mit Verlagen, Arbeitgebern oder Unterstützern der Masterarbeit. Die Autorin stellt die TUM und deren Beschäftigte insofern von Ansprüchen und Forderungen Dritter sowie den damit verbundenen Kosten frei.

Eine elektronische Fassung der Masterarbeit als pdf-Datei hat die Autorin dieser Vereinbarung beigelegt. Die TUM ist berechtigt, ggf. notwendig werdende Konvertierungen der Datei in andere Formate vorzunehmen.

Vergütungen werden nicht gewährt.

Eine Verpflichtung der TUM zur Veröffentlichung für eine bestimmte Dauer besteht nicht.

Die Autorin hat jederzeit das Recht, die mit dieser Vereinbarung eingeräumten Rechte schriftlich zu widerrufen. Die TUM wird die Veröffentlichung nach dem Widerruf in einer angemessenen Frist und auf etwaige Kosten der Autorin rückgängig machen, soweit rechtlich und tatsächlich möglich und zumutbar.

Die TUM haftet nur für vorsätzlich oder grob fahrlässig verursachte Schäden. Im Falle grober Fahrlässigkeit ist die Haftung auf den vorhersehbaren Schaden begrenzt; für mittelbare Schäden, Folgeschäden sowie unbefugte nachträgliche Veränderungen der veröffentlichten Masterarbeit ist die Haftung bei grober Fahrlässigkeit ausgeschlossen.

Die vorstehenden Haftungsbeschränkungen gelten nicht für Verletzungen des Lebens, des Körpers oder der Gesundheit.

Meinungsverschiedenheiten im Zusammenhang mit dieser Vereinbarung bemühen sich die TUM und die Autorin / der Autor einvernehmlich zu klären. Auf diese Vereinbarung findet deutsches Recht unter Ausschluss kollisionsrechtlicher Regelungen Anwendung. Ausschließlicher Gerichtsstand ist München.

München, den

Kelheim, den 14.12.2024

.....



.....

(TUM)

(Autor:in)

Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die von mir eingereichte Abschlussarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Kelheim, 14.12.2024

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Alina Stür', is written over a horizontal line.

Ort, Datum, Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

Vereinbarung	I
Erklärung.....	III
Inhaltsverzeichnis.....	V
Kurzfassung.....	1
Abkürzungsverzeichnis.....	2
1 Einleitung: Schulbau als kommunale Pflichtaufgabe in Zeiten großer Herausforderungen	3
2 Stand der Forschung und Technik	7
2.1 Schulkonzept im Wandel – Inhaltliche und räumliche Zusammenhänge.....	7
2.1.1 Rückblick auf die Entwicklungen im Schulbau seit dem 19. Jahrhundert	7
2.1.2 Aktuelle Anforderungen an den Schulbau im Zuge des pädagogischen Wandels.....	9
2.2 Lebenszyklusbasierte Betrachtung von Baumaßnahmen: theoretische Grundlagen der Lebenszykluskostenanalyse und Ökobilanzierung.....	12
2.2.1 Integraler Ansatz für lebenszyklusorientierte Baumaßnahmen	13
2.2.2 Grundlagen der Ökobilanzierung	14
2.2.3 Bewertungssysteme für Ökobilanzen.....	17
2.2.4 Grundlagen der Lebenszykluskostenanalyse.....	22
2.2.5 Bewertungssysteme für Lebenszykluskosten	24
2.2.6 Kostenermittlung im Bauwesen	28
2.2.7 Statistische Baukosten und Datenbanken.....	30
2.2.8 Grundlagen zu Lebens- und Nutzungsdauern	34
2.2.9 Umweltfolgekosten	35
3 Methoden.....	39
3.1 Befragung von kommunalen Aufgabenträgern zum Schulbau und kommunalen Finanzen.....	39
3.1.1 Grundlagen Experteninterviews.....	39
3.1.2 Durchführung der Experteninterviews.....	40
3.1.3 Qualitative Analyse der Ergebnisse aus den Experteninterviews.....	40
3.2 Aufstellung verschiedener Varianten der Lebenszykluskostenanalyse und Ökobilanz am Beispiel der Schlossbachschule Bonn	42

Inhaltsverzeichnis

3.2.1	Die Schlossbachschule Bonn – Praxisbeispiel	43
3.2.2	Rahmenbedingungen und Annahmen.....	44
3.2.3	Überblick Vorgehen und Methodik	45
3.2.4	Vorstellung der untersuchten Außenwand- Varianten	46
3.2.5	Betrachtungsszenarien	49
3.2.6	Lebenszykluskosten.....	50
3.2.7	Umweltwirkungen	58
3.2.8	CO ₂ Bepreisung.....	64
4	Diskussion der Ergebnisse.....	68
4.1	Einordnung, Diskussion und Weiterführung der Ergebnisse aus der ökonomischen und ökologischen Lebenszyklusbetrachtung	68
4.2	Architektonische und Pädagogische Aspekte des Schulbaus	72
4.3	Diskussion und Lösungsansätze für monetäre und nicht monetäre Herausforderungen in Kommunen	73
5	Fazit.....	75
	Literaturverzeichnis	77
	Abbildungsverzeichnis.....	85
	Tabellenverzeichnis.....	89
	Anhang	91

Kurzfassung

Kommunen stehen aktuell vor etwa 50 Milliarden Euro Sanierungsstau im Schulbereich, dies macht in etwa ein Drittel des Gesamtinvestitionsstaus in kommunale Infrastruktur aus. Verschärft wird diese Lage durch zahlreiche strukturelle Hemmnisse in den Verwaltungsebenen der Städte und Gemeinden. So treffen begrenzte Personalkapazitäten auf steigende gesellschaftliche und rechtliche Rahmenbedingungen im Baubereich. Besonders im Schulbau stellen heutige pädagogische Grundsätze bei Sanierung und Neubau von Schulen hohe Anforderungen an die räumliche Strukturierung der Gebäude. Darüber hinaus hat sich die kommunale Haushaltslage in den vergangenen Jahren stark verschlechtert.

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob die nachhaltige Sanierung von Schulgebäuden wirtschaftlich umsetzbar ist; unter der Prämisse, dass in der etablierten Ansicht oft noch Sanierung und Nachhaltigkeit mit erheblichen Mehrkosten verbunden werden. In dieser Arbeit sollen anhand eines Konstruktionsvergleiches, konventionelle und nachhaltige Bauweisen sowie Sanierung und Neubau kostentechnisch gegenübergestellt werden. Hierzu werden sowohl die Lebenszykluskosten der Bauteile als auch ihre Umweltfolgekosten betrachtet. Dabei wird bewusst von den anerkannten Schemata der DGNB oder BNB abgewichen und explizit an der unzureichenden Betrachtung des Bestandrückbaus bei Neubaumaßnahmen Kritik geübt. Die Ergebnisse der Lebenszykluskostenanalyse ergeben, dass die nachhaltige Sanierung einer Außenwand mit vorgefertigten Holzrahmenelementen sogar in den Errichtungskosten vorteilhafter als die konventionelle Variante ist. Jedoch erhöhen sich die Kosten im Lebenszyklus erheblich, da die gewählten Fassaden aus Holz bzw. Faserzementplatten deutlich unterschiedliche Lebensdauern aufweisen. Somit trägt die Erneuerung der Holzfassade bei den nachhaltigen Varianten innerhalb des Betrachtungszeitraums erheblich zu einer Steigerung der Lebenszykluskosten bei. Steigende CO₂-Bepreisungen stellen einen nahezu vernachlässigbaren Hebel zur Beeinflussung der Bauweisen dar.

Somit liegt das Problem nicht in erster Linie an den belegbaren Kosten nachhaltiger Sanierungen, sondern in der allgemeinen wirtschaftlich defizitären Lage der Kommunen gepaart mit internen Hemmnissen.

Abkürzungsverzeichnis

BBSR	.....	<i>Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung</i>
BEHG	.....	<i>Brennstoffemissionshandelsgesetz</i>
BKI	.....	<i>Baukostenindex</i>
BNB	.....	<i>Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen</i>
BREEAM	.....	<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>
CO ₂ -Äq.	.....	<i>Kohlenstoffdioxid-Äquivalent</i>
DGNB	.....	<i>Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen</i>
EnEV	.....	<i>Energieeinsparverordnung</i>
EPD	.....	<i>Environmental Product Declarations, Environmental Product Declaration</i>
EU-ETS	.....	<i>Europäisches Transmissionshandelssystem</i>
HOAI	.....	<i>Honorarordnung für Architekten und Ingenieure</i>
LCA	.....	<i>Life Cycle Assessment</i>
LEED	.....	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
PPP	.....	<i>Private-Public-Partnerships</i>
QNG	.....	<i>Qualitätssiegel Nachhaltiges Bauen</i>
STLB	.....	<i>Standardleistungsbuch</i>

1 Einleitung: Schulbau als kommunale Pflichtaufgabe in Zeiten großer Herausforderungen

Im August 2024 schrieb die Augsburger Allgemeine Zeitung „Deutschland[s] Schulhäuser sind ein Renovierungsfall“ (Ritschel, 2024). Dabei weisen sie auch auf Aussagen des Präsidenten des Deutschen Lehrerverbands hin, der eine akute Auswirkung der sanierungsbedürftigen Schulgebäude auf die Qualität des Unterrichts befürchtet. Demnach sei der Sanierungsstau an deutschen Schulgebäuden mit über 50 Milliarden Euro noch höher als die ausstehenden Sanierungen im Straßenbau (Ritschel, 2024).

Verglichen mit dem gesamten Sanierungsstau kommunaler Infrastruktur von 149 Milliarden Euro (Scheller et al., 2021, S. 7–9) ist der Anteil der Schulbauinvestitionen erheblich.

Diese Zahlen zeigen den dringlichen Handlungsbedarf der Kommunen auf. Die Gemeinden in Nordrhein-Westfalen sind gemäß Schulgesetz NRW als Schulträger der öffentlichen Schulen für den Unterhalt und die Bereitstellung von Schulgebäuden zuständig (Schulgesetz NRW - SchulG, 2005/09.03.2022, §78, §79).

Dennoch stehen Städte und Gemeinden vor großen monetären und nicht monetären Hürden, diese sind in Abbildung 1 mit ihrem Einfluss auf die Investitionstätigkeiten abgebildet. Die Studie von Scheller zeigt dabei die vier prägnantesten nichtmonetären Hürden wie folgt auf (Scheller et al., 2021, S. 3):

- „Kapazitätsauslastung im Baugewerbe“
- „Personalsituation in den kommunalen Planungsverwaltungen“
- „Komplexität von Genehmigungsverfahren“
- „Beteiligungsverfahren bei öffentlichen Infrastrukturvorhaben“

Einleitung: Schulbau als kommunale Pflichtaufgabe in Zeiten großer Herausforderungen

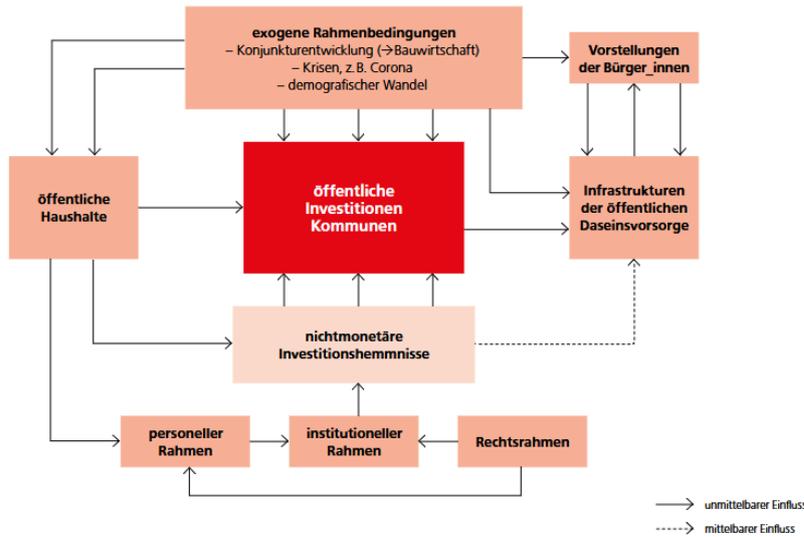


Abbildung 1: Systematisierung nichtmonetärer Investitionshemmnisse, (Scheller et al., 2021, S. 11)

Steigende gesellschaftliche und baurechtliche Anforderungen sowie die verwaltungstechnische und fachliche Komplexität der Bauvorhaben sind Gründe für den faktischen Personalmangel in den Kommunen und dies trotz stetig steigender Anzahl an Verwaltungsmitarbeitenden. (Scheller et al., 2021)

Diese internen und strukturellen Hemmnisse werden durch die aktuelle und zukünftige Finanzlage der Kommunen vergrößert, wie aus dem wiederkehrenden Kommunalpanel der KfW deutlich wird. So bekommen die Kommunen die allgemeine Preissteigerung deutlich zu spüren. Dies führt außerdem dazu, dass zwar die „Investitionen der Kommunen nominal steigen, [...] [die Kommunen] angesichts der Preissteigerung im Vergleich zum Vorjahr real weniger [investieren]“ (Raffer & Scheller, 2024, S. 11). Die Einnahmen der Kommunen steigen nicht im gleichen Maße an, wie die stark erhöhten Ausgaben. Die Selbsteinschätzung der Kommunen über die aktuelle und zukünftige Finanzlage fällt eher negativ aus. Aktuell gehen 82% von einer moderaten oder starken Verschlechterung der finanziellen Situation aus. Im letzten Jahr lag diese Einschätzung noch bei 74%. (Raffer & Scheller, 2024, S. 7–8) Aufgrund der angespannten Haushaltslage fällt es den Kommunen immer schwerer aus ihren Eigenmitteln zu finanzieren (Abbildung 2). Die Eigenmittel machen 36% des Investitionsvolumens aus und decken zusammen mit Förderungen und Kommunalkrediten den größten Teil der Investitionsfinanzierung ab (Abbildung 3).

Einleitung: Schulbau als kommunale Pflichtaufgabe in Zeiten großer Herausforderungen

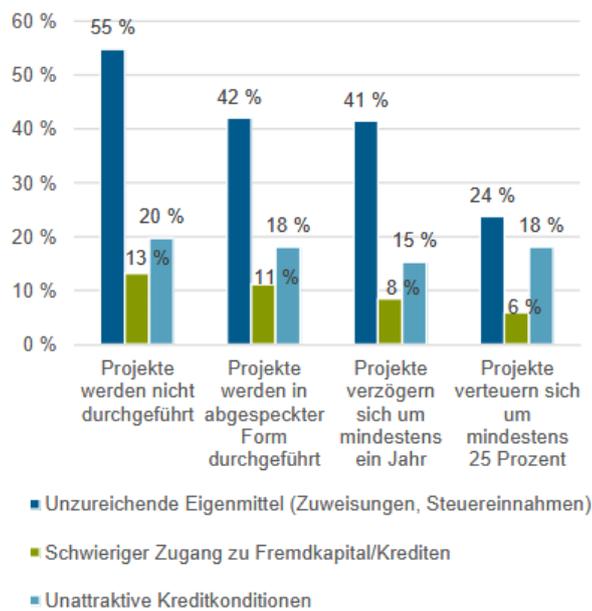


Abbildung 2: Wirkung monetärer Investitionshemmnisse (Raffer & Scheller, 2024, S. 19)

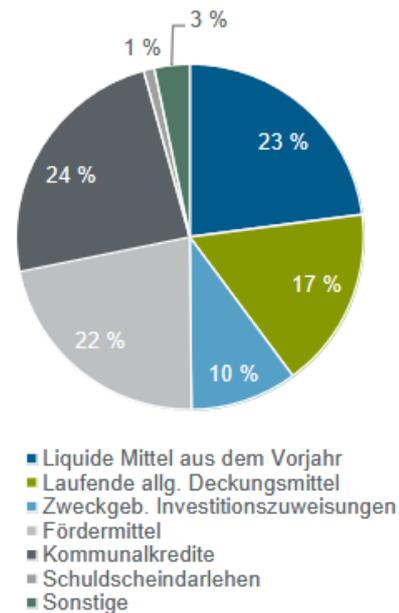


Abbildung 3: Finanzierungsmix kommunaler Investition anteilig in Prozent (Raffer & Scheller, 2024, S. 19)

Wie können Kommunen in dieser angespannten gesellschaftlichen und finanziellen Situation ihren Baubestand zudem auch noch nachhaltig sanieren?

In diesem Zusammenhang stehen oft Vorurteile und Einschätzungen im Raum, dass sowohl nachhaltig Bauen als auch Sanieren meist höhere Kosten verursacht als der konventionelle (Neu)Bau. (Dorsch & Jung, 2012, 89 f.) Im Rahmen dieser Arbeit soll nun verifiziert werden, inwiefern sich die Kosten einer Schulsanierung in nachhaltiger und konventioneller Art unterscheiden und welche Parameter darüber hinaus betrachtet werden müssen. Auch der Vergleich zum Neubau wird in diesem Zuge angestellt. Exemplarisch wird hierbei die im Rahmen des Forschungsprojektes „BauKlima-Kommunal“ ausgewählte Schlossbachschule Bonn für Berechnungen herangezogen.

Im Kapitel 2.1 wird ein historischer Überblick über die Entwicklungen im Schulbau gegeben, um dann die aktuellen konzeptionellen Anforderungen an heutige Schulgebäude darzulegen.

Die Betrachtung der Kosten ist über den ganzen Lebensweg eines Gebäudes zu sehen und somit werden in Kapitel 2.2 die Grundzüge und Instrumente der integralen Planung, der Ökobilanz und der Lebenszykluskosten betrachtet. Die Grundlagen der Kostenermittlung im Bauwesen werden zusammen mit den wichtigsten

Einleitung: Schulbau als kommunale Pflichtaufgabe in Zeiten großer Herausforderungen

Nachschlagewerken für Baukosten vorgestellt. Am Ende des Kapitels zum Stand der Forschung und Technik erweitert die Betrachtung der Umweltfolgekosten das Spektrum der bautechnischen Kostendarstellung.

Im zweiten Teil der Arbeit werden die Ergebnisse aus den Experteninterviews ausgewertet und in Verbindung mit Erkenntnissen aus der Literaturrecherche gebracht. Zur Kosteneinschätzung im Bauwesen beschäftigt sich Kapitel 3.2 mit der konkreten Berechnung der Lebenszykluskosten verschiedener Außenwandkonstruktionen der Schlossbachschule Bonn. Dies dient dazu, den oben genannten Annahmen bezüglich Mehrkosten von Sanierungen und nachhaltigen Bauweisen zu entgegnen und Einflüsse auf die Kostenbildung im Lebenszyklus auszumachen.

In Kapitel 4 werden die Ergebnisse in Bezug auf die Literatur und den aktuellen Stand der Technik diskutiert und Lösungsansätze skizziert.

2 Stand der Forschung und Technik

2.1 Schulkonzept im Wandel – Inhaltliche und räumliche Zusammenhänge

Im Folgenden sollen über einen kurzen geschichtlichen Rückblick die aktuellen Anforderungen an Schulen erläutert und neue Strategien im Schulbau dargestellt werden.

2.1.1 Rückblick auf die Entwicklungen im Schulbau seit dem 19. Jahrhundert

Der Schulbau stand und steht schon immer im Zusammenhang mit pädagogischen Leitsätzen und Entwicklungen. Diesen Zusammenhang zwischen Inhalt und Gebäude verdeutlicht auch die Beschreibung der Schulbauten von Luley (2000) als „Schulkasernen der Kaiserzeit [und] Lernfabriken der späten sechziger und siebziger Jahre“ (Luley, 2000, S. 8).

Bis in die 1850er und 60er Jahre war die sogenannte Einraumschule über lange Zeit der vorherrschende Schultypus. Dabei handelt es sich aber meist nicht um ein extra als Schule errichtetes Gebäude, sondern es wurden vielmehr schon bestehende Räume, wie etwa Gemeindesäle oder auch das private Haus des Dorflehrers genutzt. Außerdem waren dort die Kinder meist nicht streng nach Alter sortiert, sondern überwiegend ihren Fähigkeiten nach in verschiedene Gruppen in einem Raum sortiert. (Lehrstuhl für Gebäudetechnologie und klimagerechtes Bauen [TUM] & Lehrstuhl für Entwerfen und Konstruieren [TUM], 2017)

Seit Mitte des 19. Jahrhunderts erhöhten sich aufgrund steigender Bevölkerungszahlen und dem Ausbau des Schulwesens auch die Bautätigkeiten für Schulgebäude. Es hielt der sogenannte Kasernentyp mit immer größer werdenden und streng gegliederten Schulgebäuden Einzug. Unter dem Einfluss der Reformpädagogik um die Jahrhundertwende reformierte sich auch der Schulbau und man löste sich von den strengen und monotonen Schulen des Kasernentyps. Repräsentativ hierfür war der Schustertyp mit zentral gelegenen und offenen Treppenhäusern, um die herum die Klassenräume arrangiert wurden. Weitere Beeinflussungen fanden bis zum zweiten

Stand der Forschung und Technik

Weltkrieg vor allem durch die Lehren des Bauhaus, aber auch durch die nationalsozialistische Herrschaft statt. (Luley, 2000, S. 13–57)

In den Nachkriegsjahren stand der Schulbau durch die großen Zerstörungen und aufgrund jahrzehntelanger Vernachlässigung vor großen Herausforderungen. Dies befeuerte einen starken Anstieg der Bautätigkeiten in den 1950er Jahren. Einerseits wurde sich hierbei auf die reformpädagogischen Ansätze bezogen und vor allem bei kleineren Schulen der Schustertyp angewandt. Andererseits wurde sich nicht komplett vom Kasernentyp distanziert, da vermeintliche Standardisierungs- und Rationalisierungsansätze vordergründig besser umsetzbar waren. Dabei sei angemerkt, dass dies schon damals im Kontrast zum Wandel der Schulethik stand, bei dem das Kind zur freieren Entfaltung angeregt werden sollte. (Luley, 2000, S. 59–76)

Die Rationalisierung und Schlichtheit der Schulgebäude führte in den 1960er und 70er Jahren zu stark reduzierten, funktionalen und ökonomisch effizient gestalteten Lernfabriken. Diese äußerliche Effizienz und Klarheit der Gebäude spiegelte sich auch in den pädagogischen Grundsätzen der 60er und 70er Jahre wider. Diese waren geprägt von einem starken Leistungsgedanken mit einem hohen wissenschaftlichen Grundgerüst des Unterrichts. Parallel bildeten sich auch sogenannte Großraumschulen, die auf höchste Flexibilität ausgerichtet waren. Trotz dieser Entwicklung ließ man nicht von der strengen Klassenstruktur ab. Die Schüler:innen wurden weniger als Kinder oder Heranwachsende betrachtet, sondern als einfache Nutzende des Gebäudes. (Luley, 2000, S. 77-90)

Rückblickend wird der Schulbau der 60er und 70er Jahre bis heute sowohl aus architektonischen, ökonomischen als auch pädagogischen Aspekten stark kritisiert. (Luley, 2000, S. 91) Dies führte zu einem Wandel in den 1980er Jahren, bei dem die Schüler:innen als Menschen wieder in den Fokus rückten. Schulgebäude sollen somit einerseits Behaglichkeit, Harmonie und eine allgemeine Wohlfühl-Atmosphäre darstellen, andererseits wird jedoch immer noch nicht von der strengen Klassenraumstruktur abgewichen. Seit den 1990ern steht die Individualität der Schulgebäude im Vordergrund. Dies liegt auch an den gelockerten und immer weniger restriktiven Schulbauempfehlungen. (Luley, 2000, S. 115)

2.1.2 Aktuelle Anforderungen an den Schulbau im Zuge des pädagogischen Wandels

Auch heute haben sich die Anforderungen an den Schulbau und den Unterricht gewandelt. Die Schule soll vielmehr einen Ort des Lernens als einen Ort des Unterrichts darstellen. (Montag Stiftung Urbane Räume et al., 2013, S. 8) Durch mehr praktisches Lernen und dem Fokus auf Kompetenzentwicklung wendet sich die neue Lernkultur immer weiter vom reinen Frontalunterricht ab. Schüler sollen lernen, eigenständig oder in Gruppen Themen zu erarbeiten, wofür offenere Räumlichkeiten zum freien Arbeiten und Werkstätten zur Erfahrung der Praxis notwendig werden. (Montag Stiftung Urbane Räume et al., 2013, S. 8–10) Außerdem braucht über das Klassenzimmer hinaus Aufenthaltsräume abseits des Lernalltags zum Spielen, Ausruhen und Zurückziehen, auch und vor allem aufgrund eines ausgedehnten Ganztagsangebots. (Walden & Borrelbach, 2002, 41 f.) Viele Ganztagschulen wenden sich vom klassischen Schulstundenrhythmus ab und erproben neue und flexiblere Taktung des Schulalltags. (Montag Stiftung Urbane Räume et al., 2013, S. 11) Zudem besteht der Anspruch, das Bildungswesen chancengerechter zu gestalten und damit Schüler mit Beeinträchtigungen, unterschiedlichen Fördervoraussetzungen und Unterstützungsbedarf einen gleichwertigen Zugang zu Bildung zu ermöglichen. Hierfür braucht es sowohl geschultes Personal als auch barrierefreie Unterrichtsräume. (Montag Stiftung Urbane Räume et al., 2013, S. 10; Walden & Borrelbach, 2002, S. 42)

Die notwendigen Räumlichkeiten und Bereiche können nun in verschiedenen Konzepten angeordnet und kombiniert werden. Am gängigsten sind inzwischen folgende räumlichen Organisationsmodelle: *Klassenraum Plus*, *Cluster* und *offene Lernlandschaft*. (Montag Stiftung Urbane Räume et al., 2013, S. 20–23)

Wie in den Abbildung 4 und 5 zu sehen ist, wird beim *Klassenraum Plus* zum eigentlichen klassischen Unterrichtsraum ein mit anderen Klassen geteilter und flexibel nutzbarer Gemeinschaftsbereich dazugeschaltet. (Montag Stiftung Urbane Räume et al., 2013, S. 27)

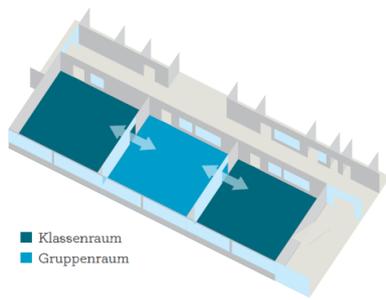


Abbildung 4: Beispiel 1 für Modell „Klassenraum Plus“ (Montag Stiftung Urbane Räume et al., 2013, S. 24)

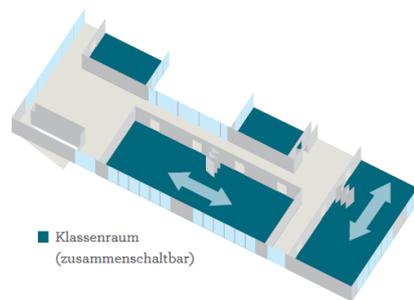


Abbildung 5: Beispiel 2 für Modell „Klassenraum Plus“ (Montag Stiftung Urbane Räume et al., 2013, S. 25)

Im Falle einer *Clusterordnung* (Abbildung 6 und 7) werden Räume oder Teilbereiche von Räumlichkeiten verschiedenen Themenclustern zugeordnet. Es wird im Gegensatz zum *Klassenraum Plus* nicht mehr so stark auf räumliche Trennungen geachtet, sondern Sichtbeziehungen und Nutzungsüberlagerungen präferiert. (Montag Stiftung Urbane Räume et al., 2013, S. 27)

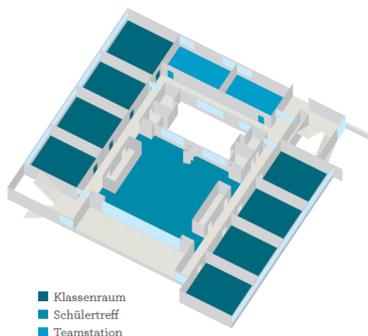


Abbildung 6: Beispiel 1 für Modell „Cluster“ (Montag Stiftung Urbane Räume et al., 2013, S. 24)

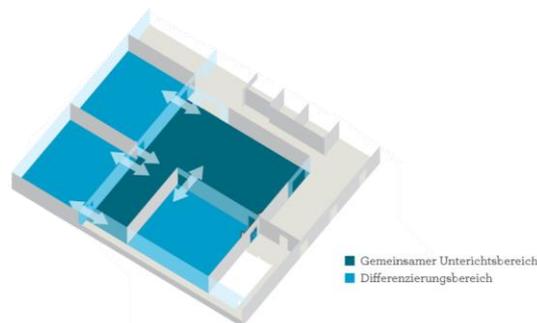


Abbildung 7: Beispiel 2 für Modell „Cluster“ (Montag Stiftung Urbane Räume et al., 2013, S. 25)

Als dritte Gestaltungsmethode wird die sogenannte *offene Lernlandschaft* (Abbildung 8 und 9) angeführt. Hierbei gehen Lernräume, Erschließungsflächen, Erholungsflächen und andere Aufenthalts- oder Unterrichtsflächen stark ineinander über. Vereinzelt abgeschlossene Räume werden weiterhin für neue und eigenständige Formen des Lernens benötigt. (Montag Stiftung Urbane Räume et al., 2013, S. 28)

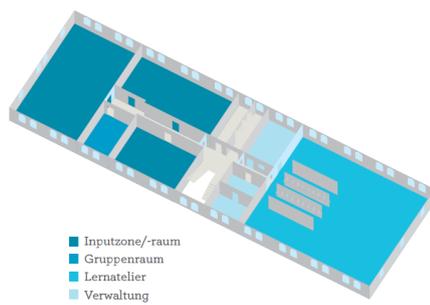


Abbildung 8: Beispiel 1 für Modell „Offene Lernlandschaft“ (Montag Stiftung Urbane Räume et al., 2013, S. 24)

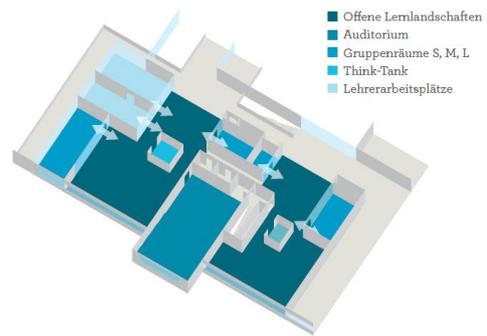


Abbildung 9: Beispiel 2 für Modell „Offene Lernlandschaft“ (Montag Stiftung Urbane Räume et al., 2013, S. 25)

Auch die Gemeinschaftsbereiche und Erschließungsflächen erleben in zeitgemäßen Schulen eine Umstrukturierung. Zukünftig soll auf reine, dem Verkehrszweck dienende, Erschließungsflächen weitestgehend verzichtet werden. Ausnahmen bilden nur stark frequentierte Bereiche. Somit können auch bei Umbaumaßnahmen kalte und verwaiste Flure zu einem belebten und vielseitig genutzten Aufenthaltsort werden. Dies kann in Form von Sitzecken und Entspannungs-Loungen mittels innenarchitektonischer Elemente, oder durch das tatsächliche Aufbrechen von Wänden umgesetzt werden. (Hubeli et al., 2017, 104 f.)

2.2 Lebenszyklusbasierte Betrachtung von Baumaßnahmen: theoretische Grundlagen der Lebenszykluskostenanalyse und Ökobilanzierung

Die DIN EN 15643 regelt die Bewertung der Nachhaltigkeit von Bauwerken und legt somit fest, dass für eine allumfassende und abschließende Bewertung die drei Säulen der Nachhaltigkeit mit einbezogen werden müssen. Ökologische, soziale und ökonomische Aspekte werden über den gesamten Lebenszyklus hinweg untersucht. In der Norm wird außerdem spezifisch auf den Bestandserhalt eingegangen und sie liefert hierfür einen Maßnahmenkatalog für die unterschiedlichen Ansätze im Umgang mit dem Baubestand: „für eine ähnliche oder neue Nutzung modernisieren, die gegenwärtige Nutzung fortführen, oder teilweise oder vollständig zurück zu bauen“. (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2021b, S. 28)

Die Lebenszyklusphasen zur Bewertung von Gebäuden werden gemäß DIN EN 16643 wie folgt dargestellt:

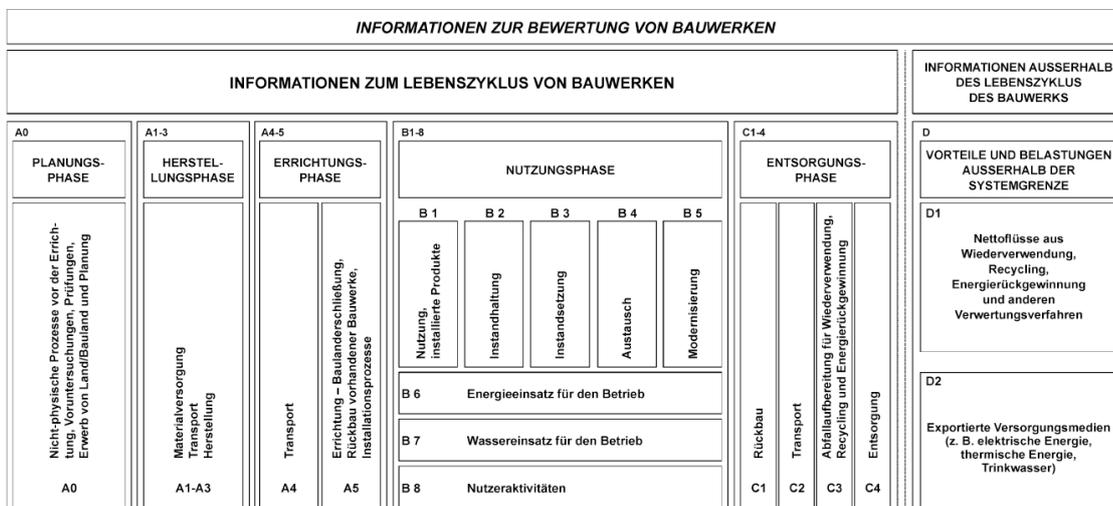


Abbildung 10: Lebenszyklusphasen zur Bewertung von Bauwerken, (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2021b, S. 31)

Bei der weiteren Betrachtung werden die sozialen Aspekte abseits der in Kapitel 2.1 skizzierten pädagogischen Rahmenbedingungen und innovativer Grundrissgestaltung nicht weiter vertieft. Gebäude und insbesondere auch Schulgebäude sind immer auch Vermittler und Erhalter von Kultur. Insbesondere „aufgrund ihres Alters, ihrer historischen und sozialen Bedeutung, ihrer handwerklichen oder ästhetischen

Qualitäten“ (König et al., S. 15) können Gebäude weit mehr als nur die bauliche Hülle über Generationen hinweg transportieren. (König et al., S. 14–15)

2.2.1 Integraler Ansatz für lebenszyklusorientierte Baumaßnahmen

Die Planung von Gebäuden war über Jahrzehnte stark am Neubau orientiert und so wurde meist nur bis zur Abnahme des Gebäudes gedacht. (König et al., 18)

Hinzukommt, dass eine Divergenz zwischen den einzelnen Beteiligten und ihren Erwartungen gegenüber dem Lebenszyklus besteht. Dieser Ziel-Nutzen-Konflikt macht sich vor allem bemerkbar, wenn Eigentümer:in oder Auftraggebende Person nicht auch Nutzende des Gebäudes ist, da diese sehr unterschiedliche Abschnitte des Lebenszyklus betrachten. Die ganzheitliche Betrachtung kommt aus eigener Intention nur zur Geltung, wenn Eigentümer:in gleich Nutzende ist. (König et al., S. 58) Bei der Betrachtung des Lebenszyklus aus der Sichtweise der verschiedenen Beteiligten kommen zudem noch deren unterschiedlichen und individuellen Zeitspannen hinzu. So können Mietende eine Zeiterwartung von bis zu 20 Jahren an des Gebäude haben öffentliche Eigentümer:innen sogar bis zu 100 Jahre. (König et al., S. 14–15)

Um Gebäude nicht nur für das hier und heute auszurichten, muss von Anfang an integral mit allen Beteiligten geplant werden. Dies bedeutet, den Lebenszyklus in verschiedenen Aspekten zu betrachten und mögliche Veränderung, z.B. bezüglich der Rohstoffversorgung, Preisentwicklung und möglichen Klimaänderungen von Anfang an miteinzuplanen. (Dorsch & Jung, 2012, S. 13–14) Das Ziel ist es nicht nur energieeffiziente, sondern nachhaltige Gebäude zu errichten: „Nachhaltige Gebäude werden unter größtmöglicher Berücksichtigung der ökologischen Leitplanken der Ökosphäre errichtet, betrieben und am Ende ihrer Lebensdauer rückgebaut. Sie sind werthaltig, da sie langlebig sind und geänderten ökologischen, ökonomischen und sozialen Rahmenbedingungen oder Nutzungsanforderungen ohne großen Aufwand angepasst werden können“ (Dorsch & Jung, 2012, S. 14) Diese Definition ist ziemlich umfassend, da sie sowohl den Lebenszyklus anspricht als auch die Auswirkungen des Gebäudes auf die weitergefasste Ökosphäre.

Einzelne Aspekte, die in den verschiedenen Lebenszyklusphasen von Relevanz sind, werden aktuell zum Teil schon abgedeckt, jedoch geschieht dies meist ohne die Beachtung der Wechselwirkungen zwischen Lebenszyklusphasen und Fachplanern (Böllmann et al., 2011, S. 4; König et al., S. 18–21). „Beispiel hierfür ist die Fokussierung auf die Errichtungsphase unter Ansatz meist gedeckelter Investitionskosten oder die auf

die Nutzungsphase beschränkten Nachweise der Energieeffizienz nach Energieeinsparverordnung (EnEV).“ (Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat [BMI], 2019)

Zur Zertifizierung des nachhaltigen Baustandards gibt es inzwischen verschiedene Programme auf nationaler und internationaler Ebene, wie beispielsweise DGNB, LEED, BREEAM und BNB.

Zur Quantifizierung der Ökonomie und Ökologie werden im Folgenden die Grundlagen der Lebenszykluskostenanalyse und Ökobilanzierung gegeben. (BMI, 2019, S. 9)

Grundsätzlich haben nachhaltige und integral geplante Gebäude auch wirtschaftliche Vorteile gegenüber konventionellen Gebäuden. Mögliche positive finanzielle Auswirkungen einzelner Nachhaltigkeitsmaßnahmen sind in Abbildung 11 zu erkennen. (Eichholtz et al.)

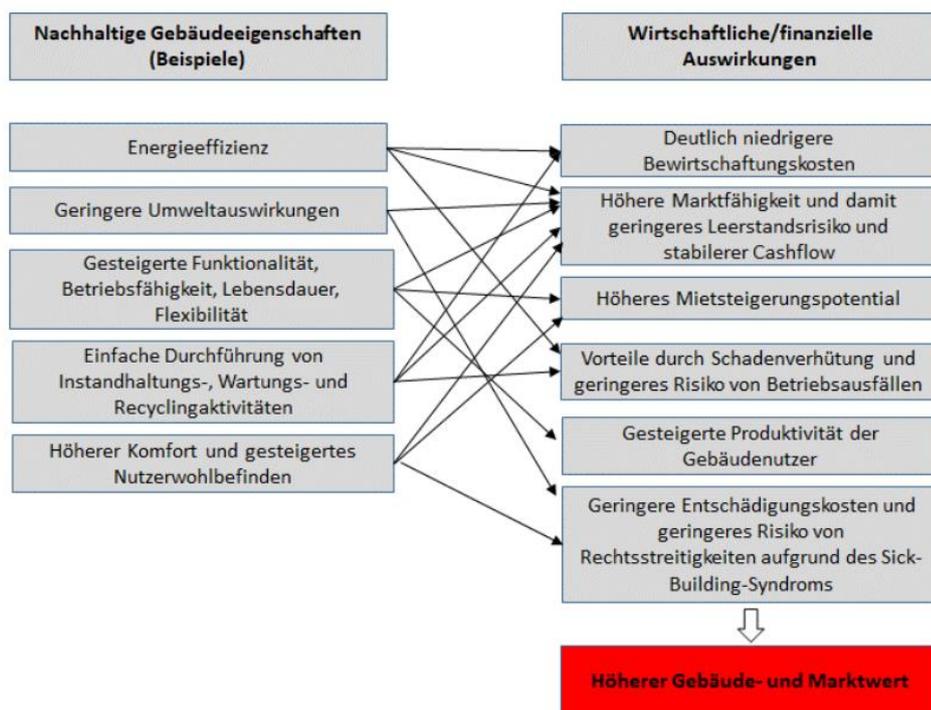


Abbildung 11: finanzielle Auswirkungen nachhaltiger Gebäudeeigenschaften, (Dodd et al., 2021a, S. 26)

2.2.2 Grundlagen der Ökobilanzierung

Die Ökobilanz stellt eine Möglichkeit zur Darstellung der Wirkungen von Produkten und Dienstleistungen auf die Umwelt dar. Konkret bedeutet dies, dass Umweltwirkungen und Ressourcen über den Lebenszyklus hinweg quantifiziert und damit eingeschätzt werden

können. Eine Ökobilanz kann ökologisches Optimierungspotential aufzeigen, die Entscheidungsfindung zwischen Produkten quantitativ stützen oder auch die öffentlichkeitswirksame Kommunikation unterstützen. (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2021a, S. 7) Normative Grundlage für Ökobilanzen bietet im Allgemeinen die DIN EN ISO 14040 (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2021a) und speziell für das Bauwesen die DIN EN 15978 . Für letztere existiert seit Mai 2024 ein Entwurf (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2024), welcher auch im Weiteren verwendet wird.

Durch die Betrachtung eines Produkts über seinen ganzen Lebenszyklus, von der Rohstoffgewinnung, über den Herstellungsprozess und Transport bis zur Nutzung und dessen Lebensende werden nicht nur die direkt für den Hersteller eines Produktes spürbaren, meist monetären Aspekte berücksichtigt. Es werden auch Umweltfolgewirkungen dargestellt, die den Hersteller nicht direkt betreffen, aber Auswirkungen auf die Ökosphäre haben. (König et al., 38 ff.)

Die Norm sieht folgende Phasen bei der Erstellung einer Ökobilanz vor (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2021a, S. 16):

- „Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens;
- Sachbilanz;
- Wirkungsabschätzung; und
- Auswertung.“

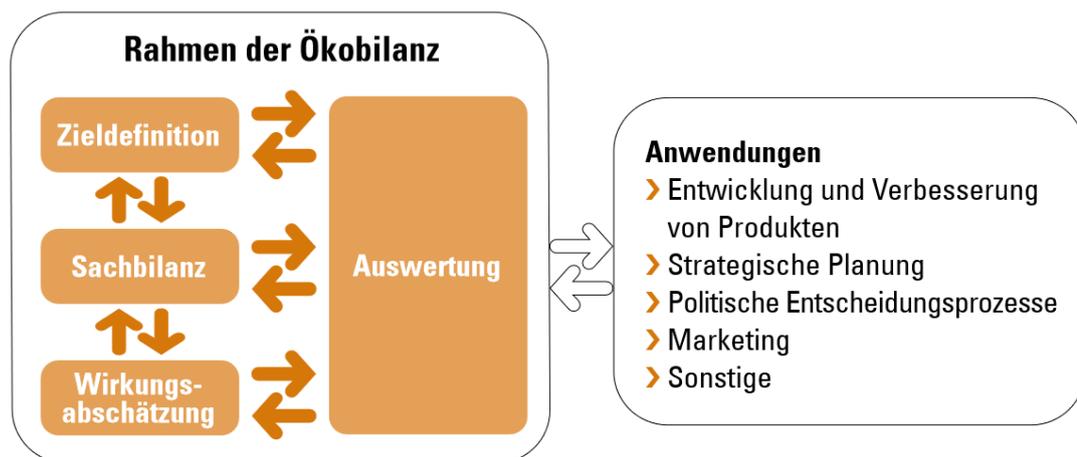


Abbildung 12: Ablauf und Bestandteile und Anwendung einer Ökobilanz, (Figl et al., 2019, S. 10)

Die Festlegung des Untersuchungsrahmens definiert das Ziel, die Zielgruppe, das Produktsystem und die Systemgrenzen. (DIN Deutsches Institut für Normung e. V.,

2021a, S. 20–22) Es kann beispielsweise ein ganzes Gebäude oder nur Bauteile betrachtet werden. Hierfür kann der Bilanzierungsrahmen eingegrenzt werden (z.B. Cradle-to-gate) oder auch, bei besonderem Fokus auf die Kreislauffähigkeit, die Systemgrenzen weiter gesteckt werden (Lebenszyklusphase Phase C1-C4). Bei Letzterem wird das Lebensende des Produktes mitbetrachtet und es kann wieder in den Kreislauf zurückgeführt und weitergenutzt werden. (König et al., 38 ff.) Von Anfang müssen mögliche Einschränkungen genannt und die erforderliche Datenqualität geklärt werden. (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2021a, S. 20–22)

In der Sachbilanz werden alle Zu- und Abflüsse stofflicher und energetischer Natur innerhalb der Systemgrenzen zusammengetragen; alle Massen und Volumina der verbauten Baustoffe und der Energieverbrauch in den einzelnen Lebenszyklusphasen werden dargestellt. Die Interpretation der Sachbilanzergebnisse stellt die Verknüpfung der ermittelten Stoff- und Energieströme mit Indikatoren für den Ressourceneinsatz und die Umweltwirkungen her. Diese Wirkungsabschätzung zeigt die Einflüsse auf die globale und lokale Umwelt auf. (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2021a, S. 8; König et al., S. 43–44) Dabei werden Umweltwirkungen in verschiedenen Kriterien interpretiert, (König et al., S. 43–44) darunter unter anderem das Treibhauspotenzial (Global Warming Potential/ GWP), Ozonabbaupotential (Ozone Depletion Potential/ ODP), Versauerungspotential (Acidification Potential AP) oder das Eutrophierungspotential (Eutrophication Potential EP). (BMI, 2019, S. 30)

Konkret auf das Bauwesen bezogen bedeutet dies, dass die eingesetzten Materialien über ihren Lebenszyklus von der Herstellung über Einbau und Instandhaltung bis zu deren Rückbau bezüglich der umwelttechnischen Auswirkungen untersucht werden. Bei der Wirkungsabschätzung ist es wichtig, einen Referenzfluss und eine funktionelle Einheit zu wählen, um „einen Bezug zu schaffen, auf den die Input- und Outputflüsse bezogen werden“ (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2021a, S. 21). Dies dient auch dem Vergleich verschiedener Varianten, die einen gleichen Nutzen erfüllen sollen (König et al., 38 ff.).

Bei der Interpretation der Ergebnisse muss jedoch immer beachtet werden, dass es sich bei der Ökobilanz nur um ein Modell in Form von Stoff- und Energieflüssen handelt und dieses nur im reduzierten Maße die Realität wiedergibt. Jedoch ermöglicht dieses System eine quantitative Annäherung an die ökologischen Auswirkungen der Prozesse und Produkte. (König et al., S. 38 ff)

Die Daten für Umweltwirkungen verschiedener Materialien und Prozesse können den sogenannten EPDs entnommen werden. Diese Umweltproduktdeklarationen beinhalten die wesentlichen „Parameter zu Ressourcenbedarf, Abfällen und Umweltwirkungskategorien“ (Figl et al., 2019, S. 11) des Produkts und sind in der DIN EN 15804 aufgeführt (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2022, S. 43–48).

Die ÖkobaDat bildet die in Deutschland grundlegende Datenbank für Umweltproduktdeklarationen. (Figl et al., 2019)

Der wohl bekannteste Umweltindikator ist das GWP oder auch Treibhauspotenzial, das in kg CO₂-Äq. angegeben wird. (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2022)

2.2.3 Bewertungssysteme für Ökobilanzen

Im Folgenden werden drei verschiedene Zertifizierungs- bzw. Bewertungssysteme für die Erstellung von Ökobilanzen aufgezeigt:

- Bewertungsschema der DGNB als Teil der im deutschsprachigen Raum führenden Nachhaltigkeitszertifizierungen
- Die Ökobilanz im Rahmen des Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen mit dem Fokus auf öffentliche Gebäude
- Auf Europäischer Ebene die Ökobilanz/LCA im Rahmen des Level(s) Schemas

2.2.3.1 Ökobilanz nach DGNB

Bei der Zertifizierung nach DGNB-Schema stellt die Ökobilanz des Gebäudes eines von vielen Kriterien dar und fließt mit 9,0% bis 9,5% in die Gesamtbewertung mit ein. Da die DGNB-Bewertung auf einem Punktesystem basiert, werden je nach Tiefe und Qualität der Ökobilanz mehr oder weniger Punkte vergeben. Die Ökobilanz ist schon in den frühen Planungsphasen mit Varianten und Optimierungsansätzen in den Prozess zu integrieren. Dies stellt sicher, dass ökologische Kriterien über den gesamten Planungsprozess beachtet werden und maßgebend für den Entwurf und die Ausführung sind. (DGNB GmbH)

Speziell im Bestand ist es wichtig „in der frühen Planungsphase die unterschiedlichen Sanierungsmöglichkeiten gegenüberzustellen.“ (DGNB GmbH, S. 64) Hierbei stehen vor allem die Wechselwirkungen zwischen den Umweltwirkungen im Betrieb und den Umweltwirkungen durch Maßnahmen an der Gebäudehülle konkret aufgrund verschiedener Wand- und Fassadenaufbauten im Fokus. (DGNB GmbH, S. 64)

Stand der Forschung und Technik

Grundsätzlich werden in einer gemäß DGNB erstellten Ökobilanz folgende Umweltwirkungen und Parameter beachtet: (DGNB GmbH, S. 63)

- Klimawandel: Treibhauspotenzial (Global Warming Potential, GWP)
- Zerstörung der stratosphärischen Ozonschicht: Ozonschichtabbaupotenzial (Ozone Layer Depletion Potential, ODP)
- Sommersmog, bodennahes Ozon: Photochemisches Oxidantienbildungspotenzial (Photochemical Ozone Creation Potential, POCP)
- Versauerung von Böden, Wald- und Fischsterben: Versauerungspotenzial (Acidification Potential, AP)
- Überdüngung von Oberflächengewässern: Überdüngungspotenzial (Eutrophication Potential, EP)
- Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf (PEne)
- Gesamtprimärenergiebedarf (PEges)
- Anteil erneuerbarer Primärenergie
- Abiotischer, nicht-energetischer Ressourcenverbrauch: Abiotisches elementares Ressourcenabbaupotenzial (ADPelements)
- Wasserverbrauch: Net use of fresh water (FW)

Hiervon kann unter Umständen und mit Begründung abgewichen werden.

Das zu bilanzierende Gebäude wird auch durch die Festlegung eines Funktionalen Äquivalents (m² Außenwand oder die Netto-Grundfläche) beschrieben. Es beinhaltet nicht nur technische Aspekte, sondern auch weitere qualitative und quantitative Profile des Gebäudes. Grundsätzlich wird das gesamte Gebäude damit abgebildet, es kann jedoch auch nur ein Gebäudeteil betrachtet werden. Hierfür müssen die Systemgrenzen und das Funktionale Äquivalent entsprechend festgelegt und beschrieben werden. (DGNB GmbH)

Die betrachteten Lebenswegphasen in den DGNB-Systemgrenzen sind der folgenden Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: Deklarierte Module in den Lebenswegphasen gemäß DGNB und BNB System, Eigene Darstellung (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, S. 4; DGNB GmbH, S. 70)

Lebenswegphasen	A1 – A3			A4 – A5		B1 – B7							C1 – C4				D
	Herstellungsphase			Errichtungsphase		Nutzungsphase							Ende des Lebenszyklus				Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenze
	Rohstoffbeschaffung	Transport	Produktion	Transport	Errichtung / Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Instandsetzung	Austausch	Modernisierung	Energieverbrauch im Betrieb	Wasserverbrauch im Betrieb	Rückbau / Abriss	Transport	Abfallverwertung	Entsorgung	Potential für Wiederverwertung, Rückgewinnung und Recycling
Module gemäß DIN EN 15978	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Deklarierte Module DGNB	x	x	x						(x)		x				x	x	x
Deklarierte Module BNB	x	x	x				(x)		(x)		x	(x)			x	x	x

Bei Bestandsbauteilen im Gebäude „werden weder die Herstellung noch die Instandhaltung (Erneuerung) noch das End-of-Life betrachtet“. (DGNB GmbH, S. 63) D.h., folglich werden diese bilanziell in keiner Weise berücksichtigt, wohingegen für neu eingebaute Bauteile die in Tabelle 1 deklarierten Module gelten.

Das Gebäudemodell muss alle relevanten Masse- und Energieflüsse der Bestandteile, die damit verbundenen Abläufe und die Energie während der Nutzungsphase, enthalten. Die Ströme, Massen und die entsprechenden Umweltwirkungen sind strukturiert und nachvollziehbar darzustellen. Hierfür bietet die DGNB neben dem vollständigen Verfahren auch ein vereinfachtes Rechenverfahren für die Module A1-A3 an. (DGNB GmbH, S. 71)

Für die zu bilanzierenden Materialien des Rohbaus und Ausbaus, d.h. für die Kostengruppen 300 und 400 sind die Abschneideregeln zu beachten, d.h. es dürfen Materialien vernachlässigt werden, die weniger als 1% der Gesamtmasse des Gebäudes betragen. Insgesamt darf die Masse der vernachlässigten Materialien jedoch 5% der Gesamtmasse nicht überschreiten. Für Kunststoffe und Beschichtungen gelten darüber hinaus noch weitere Abschneidekriterien. (DGNB GmbH, S. 72)

Für das Modul B4 empfiehlt die DGNB konkret die BBSR-Tabelle „Nutzungsdauern von Bauteilen zur Lebenszyklusanalyse nach BNB“ zur Einschätzung der Nutzungsdauern. (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung [BBSR], 2017a; DGNB GmbH, S. 73)

2.2.3.2 Ökobilanz nach BNB

Das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen richtet sich primär an „nachhaltige[] und in der Regel öffentliche[] Bauvorhaben“. (BBSR) Durch die Betrachtung der ökonomischen, ökologischen und sozialen Aspekte über den Lebenszyklus hinweg soll ein speziell ausgearbeiteter Kriterienkatalog bei der Planung ganzheitlich nachhaltiger Gebäude unterstützen. Das System unterscheidet zwischen verschiedenen Varianten: Büro- und Verwaltungsgebäude, Unterrichtsgebäude, Laborgebäude und Außenanlagen und davon jeweils das Modul Neubau oder Komplettmodernisierung. Es dient als Leitfaden und Instrument zur Qualitätssicherung über den gesamten Bau- und Planungsprozess und soll durch speziell geschulte Koordinatoren bei öffentlichen Bauvorhaben Anwendung finden. Bauvorhaben können daraufhin sowohl gemäß BNB oder darauf aufbauend auch gemäß QNG zertifiziert werden. Die Unterlagen sind öffentlich und kostenfrei auch für andere Agierenden aus der Privatwirtschaft zugänglich. (BBSR)

Die Ökobilanz stellt auch hier einen Teil der Nachhaltigkeitsbetrachtung dar. Im Vergleich zum System der DGNB werden weniger Umweltwirkungsindikatoren betrachtet: (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, S. 1)

- Treibhauspotenzial (GWP) als CO₂ – Äquivalent
- Ozonschichtabbaupotential (ODP) als R11-Äquivalent
- Ozonbildungspotential (POCP) als C2 H4 -Äquivalent
- Versauerungspotential (AP) als SO₂ -Äquivalent
- Überdüngungspotential (EP) als PO₄ -Äquivalent
- Primärenergiebedarf:
 - nicht erneuerbar QP,ne,
 - gesamt QP,ges
 - erneuerbar QP,e

Auch die Systemgrenzen unterscheiden sich von denen der DGNB-Ökobilanz. So wird beispielsweise der Wasserverbrauch im Betrieb und die Instandsetzung des Bauteils betrachtet, das Modul D „Recycling- und Wiederverwendungspotenzial“ hingegen nicht. (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, S. 4) Die Übersicht über die deklarierten Module sind in Tabelle 1 zu sehen.

Die im BNB-System vorgegebenen Abschneidekriterien sind mit den der DGNB grundsätzlich vergleichbar. Auch im BNB-System ist ein vereinfachtes

Berechnungsverfahren auf Bauteilebene oder das reguläre Verfahren auf Materialebene möglich. (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, S. 5)

Es zeigt sich sehr deutlich, dass das BNB-System nicht die Detailtiefe und den Umfang einer DGNB Ökobilanz erreicht, so werden beispielsweise keine Varianten oder Optimierungen verlangt, sondern schlicht der gebaute Zustand bilanziert.

2.2.3.3 Level(s) Europe

„Level(s) ist der gemeinsame EU-Rahmen von Kernindikatoren zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden.“ (Dodd et al., 2021a, S. 4)

Somit stellt Level(s) die Grundlage für eine EU-weite Bewertung der Nachhaltigkeit für Gebäude dar und stellt besonders Aspekte wie „Umweltleistungen[,] Gesundheit und Komfort[,] Lebenszykluskosten und Wert [sowie] potenzielle künftige Leistungsrisiken“ (Dodd et al., 2021a, S. 4) in den Fokus der Betrachtung. Level(s) setzt einen europäischen Nachhaltigkeitsstandard, der die in Abbildung 13 aufgezeigten Makroziele durch feststehende Indikatoren verfolgt.

Hierzu sieht das Level(s) System auch die Erstellung einer LCA, also einer Ökobilanz vor und setzt den Systemrahmen „Cradle to Grave“ unter Berücksichtigung folgender Umweltwirkungskategorien fest: (Dodd et al., 2021a, 15 ff)

- Klimawandel
- Ozonabbau
- Versauerung
- Aquatische Eutrophierung, Süßwasser
- Aquatische Eutrophierung, Meerwasser
- Terrestrische Eutrophierung
- Fotochemische Ozonbildung
- Erschöpfung abiotischer Ressourcen – Mineralien und Metalle
- Erschöpfung abiotischer Ressourcen – fossile Brennstoffe
- Wasserverbrauch

Im Indikator 1.2 Erderwärmungspotential des Lebenszyklus (Abbildung 13) liegt ein besonderer Fokus auf das über den Lebenszyklus kummulierte Treibhauspotenzial. (Dodd et al., 2021a, S. 11)

Stand der Forschung und Technik

Makroziele	Indikator	Maßeinheit
1. Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen im Lebenszyklus eines Gebäudes	1.1. Energieeffizienz in der Nutzungsphase	Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr (kWh/m ² /Jahr)
	1.2. Erderwärmungspotenzial entlang des Lebenszyklus	kg CO ₂ -Äquivalente pro Quadratmeter und Jahr (kg CO ₂ -Äq./m ² /Jahr)
2. Ressourceneffiziente Stoffkreisläufe	2.1. Leistungsverzeichnisse, Materialien und Lebensdauern	Mengeneinheiten, Menge und Jahre
	2.2. Bau- und Abbruchabfälle und -materialien	kg Abfall und Material pro m ² Gesamtnutzfläche
	2.3. Entwurf für Anpassungsfähigkeit und Umbau	Bewertungspunkte für Anpassungsfähigkeit
	2.4. Entwurf für Rückbau, Wiederverwendung und Recycling	Bewertungspunkte für Rückbau
3. Effiziente Nutzung der Wasserressourcen	3.1. Wasserverbrauch in der Nutzungsphase	m ³ Wasser/Jahr und Nutzer
4. Gesunde und behagliche Räume	4.1. Raumluftqualität	Parameter für Lüftung, CO ₂ und Feuchtigkeit Liste der maßgeblichen Schadstoffe: TVOC, Formaldehyd, CMR-VOC, LCI-Wert, Schimmel, Benzol, Partikel, Radon
	4.2. Zeit außerhalb des thermischen Behaglichkeitsbereichs	% der Zeit außerhalb des Komfortbereichs während der Heiz- und Kühlperiode
	4.3. Beleuchtung und Sehkomfort	Checkliste Ebene 1
	4.4. Akustik und Lärmschutz	Checkliste Ebene 1
5. Anpassung an den Klimawandel und Klimaresilienz	5.1. Schutz der Gesundheit und der thermischen Behaglichkeit der Nutzer	Prognostizierte Zeit in % außerhalb des Bereichs in den Jahren 2030 und 2050 (siehe auch Indikator 4.2)
	5.2. Zunehmendes Risiko extremer Wetterereignisse	Checkliste Ebene 1 (in Ausarbeitung)
	5.3. Nachhaltige Entwässerung	Checkliste Ebene 1 (in Ausarbeitung)
6. Optimierung der Lebenszykluskosten und des Werts	6.1. Lebenszykluskosten	Euro pro Quadratmeter und Jahr (€/m ² /Jahr)
	6.2. Wertschöpfung und Risikoexposition	Checkliste Ebene 1

Abbildung 13: Überblick über die Makroziele und die dazugehörigen Indikatoren und Maßeinheiten, (Dodd et al., 2021a, S. 11)

Darüber hinaus fließen Faktoren, wie die Zirkularität der verbauten Materialien, Szenarien zur Klimaveränderung und damit verbundene Risiken, Nutzungsflexibilität, Performance Gap und weiterer Aspekte der integralen Lebenszyklusgestaltung mit in die Bewertung ein. (Dodd et al., 2021a, S. 12)

2.2.4 Grundlagen der Lebenszykluskostenanalyse

Die ökonomischen Aspekte eines Gebäudes, also die in den verschiedenen Lebenszyklusphasen generierten Kosten, können mittels einer Lebenszykluskostenanalyse (LCC) dargestellt werden. Darüber hinaus werden durch Gebäude unter Umständen auch Einnahmen generiert, wodurch dessen Wertentwicklung gezielt gelenkt werden kann. (König et al., S. 13–14) Kosten beispielsweise in der Herstellung, dem Betrieb und für den Abriss sind in der Betrachtung vertreten. Dies hat den Vorteil, dass der Fokus nicht ausschließlich auf den geringen Kosten während der Erstellung

der Sanierung oder des Gebäudes liegt. Folglich kann sich eine teurere Herstellung eines nachhaltigen Gebäudes oft lohnen, wenn dafür dessen Betriebskosten geringer sind. (Dorsch & Jung, 2012, S. 94–98)

Generell wird zwischen einer LCC im engeren Sinn (nur Kosten) und LCC im weiteren Sinn (euch generierte Einnahmen) unterschieden. Die komplexe Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (König et al., S. 60), kann schon notwendig sein, sobald Einnahmen aus der Einspeisung von Solarstrom ins Netz generiert werden. (König et al., S. 62). Für eine Berechnung der LCC im weiteren Sinne gibt es verschiedene Verfahren, wie das Discounted-Cashflow Modell, die zur Quantifizierung der Rendite herangezogen werden können. Die alleinige Betrachtung der Ausgabenseite (LCC im engeren Sinne) kann vor allem für eigengenutzte Gebäude, wie beispielsweise öffentliche Immobilien, wie Schulen, nützlich sein. (Dorsch & Jung, 2012, S. 94–98)

Eine LCC dient als Entscheidungshilfe, zum Controlling und zur Optimierung und kann zu verschiedenen Zeitpunkten im Lebenszyklus gerechnet werden. Außerdem ist eine Durchführung auf verschiedenen Ebenen je nach Zielsetzung möglich und sowohl für ganzen Gebäude, Gebäudeteile, Bauteile oder technische Anlagen sinnvoll. (König et al., S. 57–58)

Um zukünftige Zahlungen zu verschiedenen Zeitpunkten vergleichbar zu machen, werden hierfür „die Kosten [...] anschließend abgezinst (diskontiert). Die Summe der auf den heutigen Tag abgezinsten zukünftigen Kosten ergibt den Barwert der Maßnahme.“ (Dorsch & Jung, 2012, S. 94) Diese Methode berücksichtigt damit sowohl die Inflationsrate als auch die aktuelle Zinslage.

Hierfür findet sich in der Literatur die folgende Formel, bei der sowohl der Zeitraum t und der gewählte Realzins r Verwendung finden: (Steven, 2012).

$$z_0 = z * (1 + r)^{-t} = z / (1 + r)^t$$

Es ist auf den ersten Blick noch nicht ersichtlich, inwiefern die Inflationsrate hier einfließt. Diese wird jedoch über den Realzins mit berücksichtigt:

i = Zinssatz und g = Geldentwertungsrate (moneyland.ch AG)

$$r = \left(\frac{1 + i}{1 + g} \right) - 1$$

Somit ergibt sich aus den beiden obigen Formel die Berechnung des dynamischen Barwertes unter direkter Berücksichtigung von Inflation g und Zinssatz i wie folgt: (Interessenverein für Wasser und Abwasser e. V.)

$$z_0 = z * (1 + r)^{-t} = z * \frac{(1 + g)^t}{(1 + i)^t}$$

Die mittelfristige Inflation soll etwa 2,0 % betragen. Nach eher niedrigen Inflationsraten über den Sommer 2024, hat sich die Inflationsrate im Oktober 2024 wieder auf ein Idealmaß von 2,0% eingependelt. (Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, 2024) Dieser Wert wird bei weiteren Berechnungen verwendet werden.

Der Leitzins der Europäischen Zentral Bank lag seit 2012 im negativen Bereich, bis er ab Mitte 2022 anstieg und im September 2023 ein Hoch von 4,00 % erreichte. Seitdem wurde der Zins wieder abgesenkt und liegt aktuell bei 3,25%. (Landesbank Baden-Württemberg, 2024) Für die weiteren Berechnungen wird ein Zinssatz von 3,00 % angenommen.

2.2.5 Bewertungssysteme für Lebenszykluskosten

Im Folgenden werden analog zur Ökobilanzierung in Kapitel 2.2.3 drei verschiedene Bewertungssysteme für die Erstellung von Lebenszykluskosten aufgezeigt.

- Bewertungsschema der DGNB als Teil der im deutschsprachigen Raum führenden Nachhaltigkeitszertifizierungen
- Die Ökobilanz im Rahmen des Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen mit dem Fokus auf Öffentliche Gebäude
- Auf Europäischer Ebene die LCA im Rahmen des Level(s) Schemas

2.2.5.1 Lebenszykluskostenanalyse nach DGNB

Bei einer Zertifizierung gemäß DGNB nimmt die Lebenszykluskostenrechnung einen Anteil von 10% der Gesamtbewertung der Sanierung von Bildungsbauten ein.

Durch ein möglichst frühes Aufstellen und die stetige Integration einer LCC in den Planungsprozess besteht eine größere Chance, „langfristig wirtschaftlich optimierte Lösungen zu erhalten“ (DGNB GmbH, S. 1). Vergleichbar mit der Ökobilanz gemäß DGNB-Schema (Kapitel 2.2.3.1) wird auch beim Indikator „Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus“ nicht nur die einmalige Erstellung einer Lebenszykluskostenrechnung im Punktesystem der DGNB gewürdigt, sondern auch die Erstellung von Varianten und der stetigen Optimierung der Planung im Zusammenhang mit den Lebenszykluskosten. Hierbei werden auch Strategien zur Wiederverwendung von Bauteilen oder eine

Sensibilisierung der Planung bezüglich zukünftiger Energiekostensteigerungen bewertet. (DGNB GmbH, 227 ff)

Bei der Berechnung der Lebenszykluskosten kann auch der Level(s) Indikator 6.1 “Life cycle costs” (Kapitel 2.2.5.3) als vereinfachte oder nicht-vereinfachte Option verwendet werden.

Grundsätzlich werden die Herstellkosten, sowie die Kosten für Instandhaltung und Erneuerung für die KG 300 und KG 400 (außer KG 470) der DIN 276 betrachtet. Reinigungskosten werden unter anderem für Außenwände und deren Bekleidungen außen und deren Öffnungen oder auch für Deckenbeläge herangezogen. (DGNB GmbH, S. 247)

Tabelle 2: Übersicht über die Berücksichtigten Herstell- und Nutzungskosten zur Ermittlung der Lebenszykluskosten gemäß DGNB Methode (DGNB GmbH, 236 f) , Eigene Darstellung

Ausgewählte Herstellkosten & Kosten für Erneuerung und Instandhaltung nach Kostengruppen der DIN 276	Ausgewählte Nutzungskosten nach Kostengruppen der DIN 18960
<ul style="list-style-type: none"> • KG 300 • KG 400, ausgenommen KG 470 	<ul style="list-style-type: none"> • KG 311 Wasser • KG 312 bis 316 Brennstoffe, Energie • KG 321 Abwasser • KG 330 Reinigung und Pflege von Gebäuden • KG 352 Inspektion und Wartung der Baukonstruktionen • KG 353 Inspektion und Wartung der Technischen Anlagen • KG 410 Instandsetzung der Baukonstruktionen • KG 420 Instandsetzung der Technischen Anlagen

Die Richtwerte und Prozentsätze zur Wartung, Inspektion, Instandsetzung und Reinigung werden ebenfalls vorgegeben.

Bei der Ermittlung aller zukünftig anfallenden Kosten und Erträge ist Barwertmethode anzuwenden, um die Vergleichbarkeit der anfallenden Kosten im Betrachtungszeitraum garantieren zu können. (DGNB GmbH, 237 ff)

2.2.5.2 Lebenszykluskostenanalyse nach BNB

Das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen wird die ökonomische Qualität einerseits durch eine Lebenszyklusberechnung, andererseits durch die Einstufung der

Stand der Forschung und Technik

Wirtschaftlichkeit und Wertstabilität, bei der primär die Anpassungsfähigkeit betrachtet wird, abgebildet. Gemäß einem effizienten Umgang mit Ressourcen ist auch die Minimierung der finanziellen Ressourcen über den gesamten Lebenszyklus elementar. (*Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) Unterrichtsgebäude Komplettmodernisierung*)

„Im Vordergrund steht hierbei die Minimierung der maßnahmenbedingten Herstellungs- sowie Folgekosten unter weitgehender Ausschöpfung von Optimierungspotenzialen und Weiternutzung vorhandener Bausubstanz bei gleichzeitiger Verbesserung der verschiedenen Nachhaltigkeitsaspekte.“ (*Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) Unterrichtsgebäude Komplettmodernisierung*, S. 1)

Grundsätzlich schreibt das BNB ebenfalls die Anwendung der Barwertmethode mit Nettokosten bezogen auf die Bruttogrundfläche vor.

Der Rückbau vorhandener Bausubstanz wird nicht in die Berechnung mit einbezogen, da diese dem vorangegangenen Lebenszyklus zugeschrieben wird. Die im Zuge der Maßnahme anfallenden Kosten für die Modernisierung oder Instandsetzung bestehender Substanz sowie die Herstellung neuer Bauteile werden vollständig den Errichtungskosten zugeordnet. (*Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) Unterrichtsgebäude Komplettmodernisierung*)

Tabelle 3 zeigt einen Überblick über die betrachteten Kosten: neuverbaute Substanz und Instandsetzungskosten der Altsubstanz werden den Herstellungskosten zugeordnet. Sowohl für Alt- und Neusubstanz können über den Lebenszyklus auch Instandsetzungs-, Wartungs-, Reinigungs- und weitere Nutzungskosten sowie Erneuerungskosten für Ersatzinvestitionen als deren diskontierter Barwert geltend gemacht werden. Hierfür werden sowohl für die Reinigung als auch für Instandhaltung und Inspektion Richtwerte vorgegeben. (*Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) Unterrichtsgebäude Komplettmodernisierung*)

Die Rückbaukosten am Ende des Lebenszyklus finden keine Betrachtung.

Das BNB-System stellt außerdem eine Berechnungshilfe der Lebenszykluskosten auf Basis einer Exceltabelle zur Verfügung. Auf diese wird im Kapitel 3 Methoden weiter eingegangen.

Tabelle 3: Übersicht über die Berücksichtigten Herstell- und Nutzungskosten zur Ermittlung der Lebenszykluskosten gemäß BNB Methode (*Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) Unterrichtsgebäude Komplettmodernisierung*), Eigene Darstellung

Ausgewählte Herstellkosten nach Kostengruppen der DIN 276	Ausgewählte Nutzungskosten nach Kostengruppen der DIN 18960
<ul style="list-style-type: none"> • KG 300 • KG 400, ausgenommen KG 470 • KG 530 (teilweise) • KG 540 • KG 550 (teilweise) • KG 570 (teilweise) 	<ul style="list-style-type: none"> • KG 311: Versorgung - Wasser • KG 312- 316: Versorgung - Öl, Gas, feste Brennstoffe, Fernwärme, Strom • KG 321: Entsorgung- Abwasser • KG 331, 332 und 333: Unterhalts-, Glas- und Fassadenreinigung • KG 351: Inspektion und Wartung der Baukonstruktion • KG 352: Inspektion und Wartung der TGA • KG 410: Instandsetzung der Baukonstruktion • KG 420: Instandsetzung der TGA

2.2.5.3 Lebenszykluskostenanalyse nach Level(s)

Als Europäisches Rahmenwerk für die Lebenszyklusbewertung setzt Level(s) sowohl bei den Systemgrenzen als auch bei der Wahl zu beachtender Bauelemente zwar einen Mindeststandard, trifft aber keine finalen Einschränkungen. Wenn möglich, sollen alle Lebenszyklusphasen, einschließlich des Rückbaus und der Wiederverwendung der Bauteile, beachtet werden. Das Mindestmaß umfasst jedoch nur die Phasen A1-A3 (Errichtung) und B2-B4 (Instandhaltung, Instandsetzung, Austausch), sowie die Phasen B6 und B7 für die Nutzung. (Dodd et al., 2021c)

Die Darstellung der ausgewählten Bauelemente weicht derer in der DIN 276 und DIN 18960 ab, kann jedoch wie folgt aufgegliedert werden:

Tabelle 4: Übersicht über die berücksichtigten Gebäudekomponenten im Rahmen der Lebenszykluskostenanalyse gemäß Level(s) (Dodd et al., 2021b, 27 f.)

Gebäudeteile und dazugehörige Gebäudekomponenten: Unter- und Oberbau	Gebäudeteile und dazugehörige Gebäudekomponenten: Ausstattung, Einrichtung und Technik
<ul style="list-style-type: none"> • Fundamente (Unterbau) <ul style="list-style-type: none"> ○ Stütze ○ Untergeschosse ○ Stützmauern • Tragwerk <ul style="list-style-type: none"> ○ Rahmen (Träger, Stütze, Decke) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ausstattung und Einrichtung <ul style="list-style-type: none"> ○ Sanitäre Einrichtung ○ Schränke, Garderoben & Arbeitsflächen ○ Decken ○ Wand- & Deckenbekleidungen ○ Bodenbeläge & -beschichtungen

<ul style="list-style-type: none">○ Obergeschosse○ Außenwände○ Balkone• Nicht tragende Elemente<ul style="list-style-type: none">○ Erdgeschossbodenplatte○ Innen- & Trennwände, Türen○ Treppen und Rampen• Fassaden<ul style="list-style-type: none">○ Außenwandssysteme, Verkleidungen & Sonnenschutz○ Fassadenöffnungen○ Außenanstriche, Beschichtungen & Putze• Dach<ul style="list-style-type: none">○ Konstruktion○ Wetterschutz• Parkplätze<ul style="list-style-type: none">○ oberirdisch & unterirdisch	<ul style="list-style-type: none">• Eingebautes Beleuchtungssystem<ul style="list-style-type: none">○ Leuchten○ Steuerungssysteme & Sensoren• Energiesystem<ul style="list-style-type: none">○ Heizanlage & Wärmeverteilung○ Kühlanlage & Kälteverteilung○ Stromerzeugung & -verteilung• Lüftungssystem<ul style="list-style-type: none">○ Lüftungsgeräte○ Luftleitungsnetz & -verteilung• Sanitärsysteme<ul style="list-style-type: none">○ Kaltwasserverteilung○ Warmwasserverteilung○ Wasseraufbereitungssysteme○ Abwassersystem• Sonstige Systeme<ul style="list-style-type: none">○ Aufzüge und Rolltreppen○ Feuerlöschanlagen○ Kommunikations- und Sicherheitsanlagen○ Telekommunikations- und Datenanlagen
--	---

Bezüglich des Umgangs mit dem Bestand gibt es den Indikator Lebenszykluskosten betreffend keine weiteren Regelungen oder Konkretisierungen. Lediglich die Definition, ab wann es sich um eine „Größere Renovierung“ handelt, wird gegeben. (Dodd et al., 2021b) Im Indikator 2.2 „Bau- und Abbruchabfälle und -materialien“ wird auf die Relevanz der Reduktion von Abfallaufkommen und des Umgangs mit rückgebauten Materialien eingegangen, jedoch passiert dies ausschließlich auf einer massetechnischen Erhebung. Der einer Baumaßnahme vorangehende Rückbau oder Abriss findet keine ersichtliche Relation mit Umweltwirkungen oder Kosten. (Donatello et al.)

2.2.6 Kostenermittlung im Bauwesen

Gemäß HOAI und DIN 276 sind in verschiedenen Leistungsphasen der Planung und des späteren Baubetriebs die Kosten auf unterschiedlichen Ebenen zu ermitteln. Je weiter eine Planung fortschreitet, je höher somit die Leistungsphase ist, desto genauer können die Kosten ermittelt und später festgestellt werden. Die Norm gibt drei Ebenen vor, welche in Abbildung 3 exemplarisch für Außenwandkonstruktionen aufgezeigt werden.

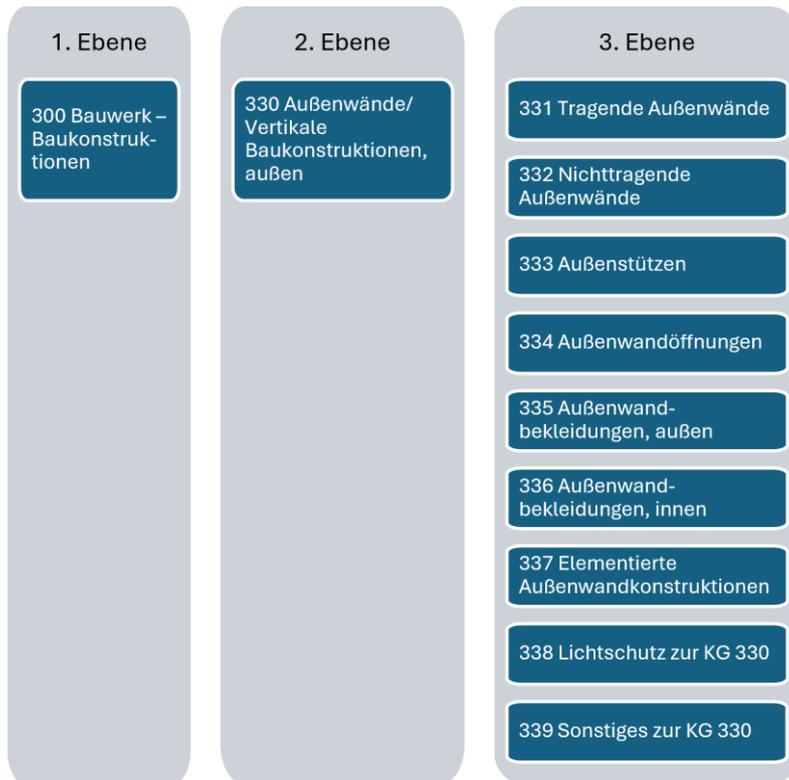


Abbildung 14: Kostenebenen exemplarisch nach DIN 276 (eigene Darstellung)

In Kombination mit den 9 Leistungsphasen der HOAI werden die Stufen der Kostenermittlung und deren Detaillierungsgrad wie folgt festgelegt:

Tabelle 5: Darstellung der Kostenstufen, Darstellung nach (BKI Baukosteninformationszentrum, 2024c, S. 73)

LPH	Stufen der Kostenermittlung mit Kostengruppe der Ebenen der Kostengliederung					
	Objektplaner, an der Planung Mitwirkende					
1	Kostenrahmen 1. Ebene					
2		Kostenschätzung 2. Ebene				
3			Kostenberechnung 3. Ebene			
4						
5				Kostenvoranschlag 3. Ebene mit techn. Vergabedetails		
6						
7					Kostenanschlag nach Vergabeeinheiten	
8						Kostenfeststellung 3. Ebene oder gem. Kostenanschlag
9						

In der Leistungsphase 2 – Vorplanung sieht die HOAI eine Variantenuntersuchung vor. Dies ist durchaus schlüssig, da auf Grundlage der maßgebenden Rahmenbedingungen verschiedene Varianten frühestmöglich hinsichtlich Ökologie, Kosten, Gestaltung und Technik eingeschätzt werden sollen. (Hebel, 2021, 101 ff.) Zur Beurteilung der Kosten wird hier die „Kostenschätzung nach DIN 276“ (Hebel, 2021, S. 102) genannt. Die DIN 276 schreibt der Kostenschätzung die Ebene 2 der Kostengliederungsstufen zu. Dies bedeutet, dass die Kosten auf dem Detailgrad der Außenwände, Decken oder Dächer ermittelt werden. (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2018, S. 9)

Eine Ausnahme bildet das Bauen und Planen im Bestand. Denn hier ist es auch in früheren Phasen notwendig, die dritte Kostenebene zu verwenden, da Bauteile nicht im Gesamten ersetzt werden. Dies ist am Beispiel der Außenmauern zu verdeutlichen. So wird beispielsweise der tragende Stahlbetonkern erhalten, aber die Putzschichten müssen erneuert oder eine Dämmung hinzugefügt werden. (BKI Baukosteninformationszentrum, 2024b, S. 47) Dies stellt unter Umständen einen planungstechnischen Mehraufwand dar und somit kann gemäß HOAI ein „Zuschlag [...] bis 33 Prozent auf das mittlere Honorar in Textform vereinbart werden.“ (Hebel, 2021, S. 39)

2.2.7 Statistische Baukosten und Datenbanken

Zur Ermittlung der Baukosten können verschiedene Baukostenindizes und Tabellenwerte, die durchschnittliche Baukosten wiedergeben verwendet werden. Im Folgenden werden sowohl die Tabellenwerte des Baukosteninformationszentrums Deutscher Architektenkammern und die Dynamische Baudatenbank STLB Bau vorgestellt.

2.2.7.1 BKI – Baukosten

Das Baukosteninformationszentrum bieten mit seiner Buchreihe BKI Baukosten statistische Kostenwerte auf den in Kapitel 2.2.6 erläuterten Ebenen im Alt- und Neubau an. In Tabelle 6 ist eine Übersicht über die Fachbuchreihen Altbau und Neubau zusehen.

Als Grundlage der Kostensätze dienen tatsächlich festgestellte Baupreise von realisierten Bauvorhaben. Hierzu können bundesweit Architekt:innen ihre abgerechneten Baumaßnahmen und Gebäude einreichen. Die statistisch ermittelten Kostenwerte werden dabei als Mittelwert angegeben und der dazugehörige Streubereich mittels Standardabweichung als „von-bis-Preise“ dargestellt. Die

obere und untere Standardabweichung wird separat angegeben, da es wahrscheinlicher ist, dass ein Preis über dem Mittelwert liegt als darunter. (BKI Baukosteninformationszentrum, 2024c, 10 ff.) Die Durchschnittswerte unterliegen weiteren externen Einflussfaktoren, wie der Komplexität, Qualität und dem Standort des Bauvorhabens. Zur Einbeziehung des Standortes gibt das BKI hierfür ausgewählte Regionalfaktoren an, die die regionalen bauwirtschaftlichen Disparitäten sowie die Disparitäten zwischen Stadt und Land darstellen. (BKI Baukosteninformationszentrum, 2024c, 1000 ff.)

Tabelle 6: Gegenüberstellung der Bände aus der Fachbuchreihe BKI Baukosten, Eigene Darstellung in Anlehnung an (BKI Baukosteninformationszentrum, 2024c, S. 42)

Baukosten Gebäude Neubau/Altbau	Baukosten Bauelemente Neubau	Baukosten Positionen Neubau/Altbau
Kosten auf der 1. und 2. Ebene der Kostenermittlung	Kosten auf der 2. und 3. Ebene der Kosten-ermittlung, Informationen zu Lebensdauern von Bauteilen	Kosten einzelner Positionen nach Leistungsbereichen geordnet
Verwendung für: Kostenrahmen, Kostenschätzung	Verwendung für: Kostenberechnung, Kostenvoranschlag	Verwendung für: Bepreisung von Leistungsverzeichnissen, Kostenanschlag
HOAI Phase 1 – 2	HOAI Phase 3 – 6	HOAI Phase 6 – 8

In den Fachbüchern BKI Baukosten Gebäude werden Kennwerte für unterschiedliche Gebäudetypen bezogen auf den Brutto-Rauminhalt, der Brutto-Grundfläche oder auch Nutzungsfläche angegeben. „Diese [...] sind geeignet, um bereits ohne Vorentwurf erste Kostenaussagen auf der Grundlage von Bedarfsberechnungen treffen zu können.“ (BKI Baukosteninformationszentrum, 2024c, S. 43)



Abbildung 15: Ausschnitt BKI Gebäude Neubau (BKI Baukosteninformationszentrum, 2024c, S. 43)

Die Baukosten Bauelemente Neubau gliedern sich in Grobelemente (2. Ebene der Kostengliederung), Kostenkennwerte nach Gebäudeart und Kostengruppen, sowie nach Ausführungsarten. Bei Letzterer werden die Kostengruppen der 3. Ebene gesondert strukturiert, siehe Abbildung 16, und es sind im Gegensatz zu den anderen Darstellungen konkrete Qualitätsstufen der Ausführung erkennbar.

KG.02		€ / Einheit	LB an AA
353.70 Holz			
07 DE Lamparkett, Eiche, geschliffen/behandelt, Sockelleiste	175,00	229,00	267,00
Einheit: m ² Belagfläche			
028 Parkett-, Holzpflasterarbeiten			100,0%
353.80 Hartbeläge			
01 DE Naturkorkparkett, 12mm, Sockelleiste	95,00	108,00	127,00
Einheit: m ² Belagfläche			
028 Parkett-, Holzpflasterarbeiten			14,7%
036 Bodenbelagarbeiten			85,3%
02 DE Linoleumbelag, 2,5mm, Sockelleiste	77,00	87,00	111,00
Einheit: m ² Belagfläche			
028 Parkett-, Holzpflasterarbeiten			18,2%
036 Bodenbelagarbeiten			81,8%

353
Deckenbeläge

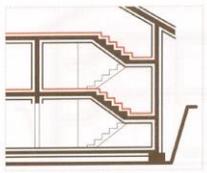


Abbildung 16: Ausschnitt BKI Bauelemente Neubau, Gliederung nach Ausführungsarten (BKI Baukosteninformationszentrum, 2024b, S. 575)

Vor allem die 3. Ebene ist im Altbau von großer Relevanz, da in der Sanierung oft zwischen den einzelnen Bauteilschichten (tragende Elemente und Oberflächen) unterschieden werden muss. (BKI Baukosteninformationszentrum, 2024c, S. 47) Die Variante Baukosten Bauelemente existiert jedoch nur für den Neubau.

Kosten für Abbruch- und Rückbaupositionen finden sich im BKI Baukosten Positionen Altbau. (BKI Baukosteninformationszentrum, 2024a) Wie in Abbildung 17 am Leistungsbereich „LB 323 Putz- und Stuckarbeiten, Wärmedämmsysteme“ aus dem BKI Positionen Altbau zu erkennen ist, werden hier neben den Positionen zum Abbruch bestehender und dem Anbringen neuer Putzschichten auch verschiedene Arten der Untergrundvorbereitung und der Instandsetzung vorhandener Putze angegeben. (BKI Baukosteninformationszentrum, 2024a, S. 278)

14	Hohlstellen prüfen, Innenputz	m ²	2	2	3	3	6
			2	2	2	3	5
15	Hohlstellen abschlagen, Innenputz	St	11	18	21	24	31
			10	15	18	20	26
16	Pilz-/Algenbefall entfernen, Außenputz	m ²	8	9	10	12	19
			7	8	9	10	16
17	Mauerbewuchs entfernen, Putzflächen	m ²	4	9	10	11	15
			4	7	8	10	13
18	Ausblühungen entfernen, Putzuntergrund	m ²	4	7	7	9	14
			4	5	6	7	12
19	Mauerwerksfugen verfüllen	m ²	20	21	25	29	43
			17	18	21	25	36
20	Putzträger, verzinkt, Innenwand	m ²	9	18	20	24	30
			8	15	17	20	25

Abbildung 17: Ausschnitt aus Leistungsbereich 323 Putz- und Stuckarbeiten, Wärmedämmsysteme des BKI Positionen Altbau, (BKI Baukosteninformationszentrum, 2024a, S. 278)

2.2.7.2 STL-Bau: Dynamische Baudaten

Bei der STL-Bau handelt es sich um eine Datenbank, die die Verknüpfung von VOB-konformen Ausschreibungstexten mit Baupreisen und den entsprechenden Normen anbietet. Die Baupreise werden von DBD-Dynamische Baudaten gestellt. Als Grundlage hierfür dient laut DBD eine Musterkalkulation, die individuell anpassbare und aktuelle standortspezifische Orientierungspreise enthält. (DBD-Center)

Ändert man somit in STL-Bau Eingaben an der Position wird live der adaptierte Baupreis berechnet.

Die Datenbank ist nach Leistungsbereichen sortiert, welche wieder in Unterkategorien mit einzelnen Positionen unterteilt sind. Die Positionen sind teilweise sehr detailliert ausformuliert. Es gibt keine direkte Unterteilung zwischen Neubau und Altbau Positionen. Im Leistungsbereich „023 Putz- und Stuckarbeiten, Wärmedämmsysteme“ im Unterordner „Innenputzsysteme“ befinden sich sowohl Leistungsbeschreibungen für Sanierputzsysteme, als auch für klassische einlagige Innenputzsysteme auf Mauerwerk. Außerdem werden in jedem Leistungsbereich auch bepreiste Leistungsbeschreibungen für Abbruch und Rückbauarbeiten aufgeführt. (Gemeinsamer Ausschuss Elektronik im Bauwesen [GAEB] & Hauptausschuss im Deutschen Vergabe- und Vertragsausschuss für Bauleistungen (DVA))

2.2.8 Grundlagen zu Lebens- und Nutzungsdauern

Bei der Betrachtung von Bauteilen und Gebäuden über den Lebenszyklus in Form von Ökobilanzen und Lebenszykluskosten ist entscheidend, wie oft ein Bauteil im Betrachtungszeitraum ausgetauscht werden muss.

Die Literatur gibt zur genauen Berechnung der Lebensdauern einerseits die in der ISO 15686 beschriebene Faktorenmethode an, sowie die Referenzfaktorenmethode von Tomm, Rentmeister und Finke. Beide Methoden basieren auf einer standardisierten durchschnittlichen Lebensdauer, die in speziellen Anwendungsfällen durch verschiedene Parameter angepasst werden kann. (BBSR & Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung [BBR], 2010, S. 21 f; Ritter, 2011, S. 51 f.) Denn die exakte Lebensdauer ist abhängig von: „Baujahr, Ausführung, Exposition, Qualität des Einbaus und der Wartung“ (König et al., S. 31). Beide Methoden kommen jedoch nur in Einzelfällen zur Anwendung. (BBSR & BBR, 2010, S. 21 f; Ritter, 2011, S. 51 f.)

In der Praxis werden häufig Nutzungsdauern angegeben, die wie die vom BBSR veröffentlichten Tabellen (BBSR, 2017a), größtenteils auf Erfahrungswerten beruhen. (BBSR, 2017b)

Es können somit verschiedene Arten von Lebensdauern definiert werden (König et al., S. 36):

- Durchschnittliche Lebensdauer (Reference Service Life): stellt die Basis für Ökobilanzierung und Lebenszykluskostenberechnung dar
- Erwartete/angenommene technische Lebensdauer (Estimated Service Life): ist eine, auf der durchschnittlichen Lebensdauer aufbauende Einschätzung, die wie oben beschrieben zum Beispiel mit der Faktorenmethode bestimmt werden kann
- Wirtschaftliche Nutzungsdauer: Diese ist meistens kürzer als die technische Nutzungsdauer.

Darüber hinaus kann ein Bauteil oder auch ein ganzes Gebäude aus funktionalen, formalen, kulturellen oder auch rechtlichen Gründen obsolet werden. Dies führt folglich ebenfalls zu einer kürzeren Nutzungsdauer. (König et al., S. 36) Aus statistischen Analysen geht außerdem hervor, dass die Nutzungsdauer von Bauteilen im letzten Jahrhundert rückläufig war. Als Beispiel wird hier ein Fenster genannt, das 1933 verbaut wurde und statistisch gesehen eine Halbwertszeit von 55 Jahren aufwies, 1963 verbaute Fenster jedoch nur eine Halbwertszeit von 40 Jahren aufwiesen. (König et al., S. 31)

2.2.9 Umweltfolgekosten

Eine nachhaltige Wirtschaftlichkeit oder nachhaltige Ökonomie ist umfassender gedacht, als die kurzfristige betriebswirtschaftliche Berechnung. Ein wirtschaftlich und ökologisch nachhaltiges Investment minimiert das Risiko und mögliche zukünftige Wertverluste.

In diesem Zusammenhang nehmen die externen Effekte, also Handlungen oder Maßnahmen, die negative Auswirkungen außerhalb des eigenen Wirkungsfeldes auf die Umwelt haben, eine wichtige Rolle ein. (Dorsch & Jung, 2012, S. 87 ff)

Das Werkzeug Ökobilanz (Kapitel 2.2.2), ermöglicht die Quantifizierung dieser Umweltwirkungen. Die Auswirkungen können auch in Form von Folgekosten dargestellt werden, die der Verursacher aber nicht direkt begleicht, das heißt „[d]ie Folgen werden externalisiert: Die Gesellschaft trägt die Kosten, während der Akteur den Ertrag erzielt.“ (Dorsch & Jung, 2012, S. 87) Über einen längeren Zeitraum wird auch der Verursacher die Folgen seines Handelns durch erhöhte Temperaturen oder die Zunahme von Unwettern feststellen, aber „[d]iese Folgen lassen sich zum Zeitpunkt der Entstehung des externen Effektes [...] allerdings nicht als Kosten für die einzelne Immobilie quantifizieren.“ (Dorsch & Jung, 2012, S. 87)

Der Externalisierung von negativen Auswirkungen kann durch Internalisierung entgegengewirkt werden und die verursachten eigentlichen externen Kosten werden durch den Verursacher selbst getragen. Eine weitere Möglichkeit sind, die durch den Staat geschaffenen wirtschaftliche Anreize (Förderungen oder günstige Darlehensbedingungen), die nachhaltigere Alternative attraktiver machen. (Dorsch & Jung, 2012)

Im Folgenden werden nun die europäische und nationale Methodik der Internalisierung der Treibhausgasemissionen durch die Bepreisung von CO₂ betrachtet.

Dabei sei angemerkt, dass das Umweltbundesamt einen CO₂-Preis in Höhe von aktuell 880 € pro Tonne CO₂ empfiehlt. Dies stellt den *wahren* CO₂ Preis dar, der „bei einer Gleichgewichtung klimawandelverursachter Wohlfahrtseinbußen heutiger und zukünftiger Generationen“ (Umweltbundesamt, 2024b) angesetzt werden müsste.

2.2.9.1 Europäischer Transmissionshandel

Im alltäglichen Sprachgebrauch wird oft fälschlicherweise von einer CO₂-Steuer gesprochen. Bei den aktuellen nationalen und europäischen Bepreisungen der CO₂-Emissionen handelt es sich jedoch nicht um eine Steuer, sondern um dem Handel mit Emissionszertifikaten. (Rödl & Partner, 2020) Im Gegenzug zu einer möglichen Steuer

bietet der Zertifikathandel das größere Potential den CO₂-Ausstoß wirklich zu senken, da hierbei die Emission nicht nur bepreist, sondern die Menge auch limitiert wird. (Feist, 2019)

Die Grundlage für das Europäische Transmissionshandelssystem 1, auch EU-ETS 1 genannt, wurde bereits 1997 mit dem Kyoto-Protokoll gelegt und über das Pariser Klimaschutzabkommen 2015 bis hin zum Europäischen Green Deal 2019 weiter angepasst. Letzterer stellt die Basis für das auf EU-Ebene wirkende Klimaschutzpaket „Fit for 55“ dar. Hierbei sollen die „Netto-Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 55 Prozent gegenüber 1990 [gesenkt werden] und bis 2050 treibhausgasneutral [...] werden“. (Deutsche Emissionshandelsstelle, 2024)

Der europäische Emissionshandel basiert auf dem Prinzip des *Cap and Trade* also der Begrenzung und des Handels von Zertifikaten, die zum Ausstoß einer Tonne CO₂-Äquivalenten berechtigt. Das bedeutet, dass eine Obergrenze der verfügbaren Zertifikate existiert und diese aber wiederum auf dem freien Markt gehandelt werden können. Durch diesen marktorientierten Ansatz entsteht automatisch ein sich anpassender Preis. Aktuell liegt dieser bei etwa 70 €/to CO₂-Äq. Dieses auf Angebot und Nachfrage basierende System wird durch die schrittweise Reduktion der verfügbaren Zertifikate weiter beeinflusst. (Umweltbundesamt, 2024a) Dem EU-ETS 1 unterliegen aktuell etwa 9000 Anlagen, die größtenteils in den energieintensiven Sektoren verortet werden können. So fallen darunter unter anderem Raffinerien, große Heizkraftwerke (ab 20 MW Leistung), aber auch Zement-, Stahl- oder Aluminiumwerke. Der EU-ETS1 deckt aktuell circa 40% der europäischen Treibhausgasemission ab und konnte eine Reduktion, der durch die berücksichtigten Anlagen verursachten, Emissionen seit 2005 um etwa 48% senken. (Deutsche Emissionshandelsstelle, 2024)

Es ist erkennbar, dass das *Cap and Trade* System eine wirtschaftliche und sehr effektive Art und Weise der Kosteninternalisierung darstellt (Umweltbundesamt, 2024a) und auch eine hohe ökologische Treffsicherheit aufweist (Feess & Seeliger, 2021).

Ab 2027 soll zudem der EU-ETS 2 eingeführt werden, der getrennt von den großen und energieintensiven Anlagen unter anderem auch die Sektoren Gebäude und Straßenverkehr inkludiert. Der EU-ETS 2 funktioniert nach dem gleichen Upstream Prinzip wie der in Kapitel xx beschriebene Nationale Emissionshandel. (Schrems et al., Juli/2023)

Dem Bericht der Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung ist zu entnehmen, dass die zur Einhaltung der „Fit for 55“ Klimaziele notwendigen CO₂ Preise deutlich höher als das

aktuelle Preisniveau von etwa 70 €/to CO₂-Äq. liegen müssen. Dabei gehen sie von einer Anpassung der Preise bis 2030 je nach Sektoren (EU-ETS 1 oder EU-ETS 2) auf 130 €/to CO₂-Äq. bis 275 €/to CO₂-Äq. aus. (Pietzcker et al.)

2.2.9.2 Nationaler Emissionshandel

Die rechtliche Grundlage für die nationale CO₂ Bepreisung bildet das Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG), das 2019 verabschiedet wurde. (BEHG/Dez. 2019) Wie in Abbildung 18 zu sehen ist, handelt es sich im Gegensatz zum EU-ETS 1 um ein Upstream-Prinzip. Das bedeutet, dass Unternehmen die Brennstoffe, in den Verkehr bringen, die dem BEHG unterliegen, zur Beschaffung der Zertifikate verpflichtet werden. (Deutsche Emissionshandelsstelle, Mai/2024) Aktuell beinhaltet dies die Brennstoffe Benzin, Diesel, Heizöl und Erdgas, Kohle und seit 1. Januar 2024 auch die Verbrennung von Abfällen.

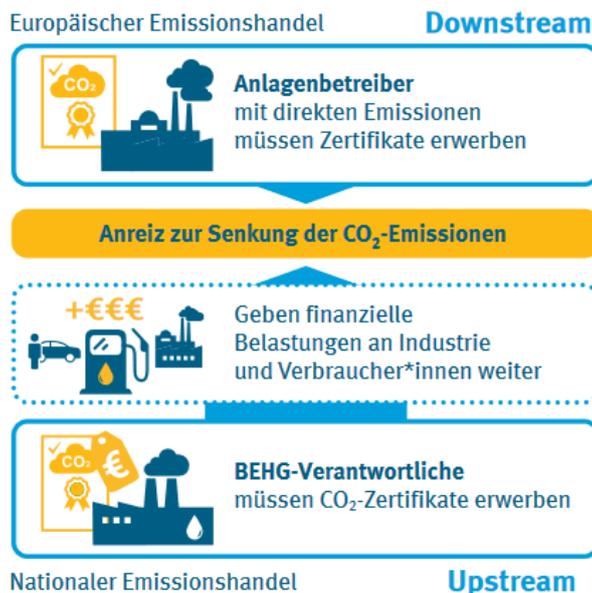


Abbildung 18: : Gegenüberstellung Europäischer und nationaler Emissionshandel, (Deutsche Emissionshandelsstelle, Mai/2024)

Der Preis ist im Gegensatz zum EU-ETS 1 nicht der Regulation durch den freien Markt überlassen sondern wurde gemäß § 10 BEHG in folgenden Stufen festgelegt: (BEHG/Dez. 2019)

1. „im Zeitraum vom 1. Januar 2021 bis zum 31. Dezember 2021: 25 Euro,
2. im Zeitraum vom 1. Januar 2022 bis zum 31. Dezember 2022: 30 Euro,

Stand der Forschung und Technik

3. im Zeitraum vom 1. Januar 2023 bis zum 31. Dezember 2023: 30 Euro,
4. im Zeitraum vom 1. Januar 2024 bis zum 31. Dezember 2024: 45 Euro,
5. im Zeitraum vom 1. Januar 2025 bis zum 31. Dezember 2025: 55 Euro.“

Ab Januar 2026 wird der Handel mit Zertifikaten, unter der Bedingung der Preisdeckelung in Höhe von 65€, eröffnet (BEHG/Dez. 2019; Deutsche Emissionshandelsstelle, Mai/2024)

Nach dieser Übergangszeit soll das nationale System 2027 in den EU-ETS 2 eingegliedert werden. (Bundesregierung, 2024)

Die durch die nationale CO₂ Bepreisung generierte Einnahmen werden für transformative Zwecke genutzt und fließen in klimatransformationsfördernde Maßnahmen. (Bundesregierung, 2024)

3 Methoden

3.1 Befragung von kommunalen Aufgabenträgern zum Schulbau und kommunalen Finanzen

Grundsätzlich dienen qualitative Experteninterviews dazu Prozesse mit Hilfe von Wissensträgern (Experten) zu erkennen und zu verstehen. (Kaiser, 2021) Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Interviews dienen der Ergänzung der durch die in der Literaturrecherche herausgefundenen Prozesse und Herausforderungen kommunaler Bautätigkeiten.

Experteninterviews sind vor allem in den Sozial- und Politikwissenschaften ein gängiges wissenschaftliches Werkzeug (Gläser & Laudel, 2010, S. 12 ff) und somit trifft auch folgende Definition von (Kaiser, 2021) zu:

„Qualitative Experteninterviews können definiert werden als ein systematisches und theoriegeleitetes Verfahren der Datenerhebung in Form der Befragung von Personen, die über exklusives Wissen über politische Verhandlungs- und Entscheidungsprozesse oder über Strategien, Instrumente und die Wirkungsweise von Politik verfügen.“ (Kaiser, 2021, S. 9)

3.1.1 Grundlagen Experteninterviews

Als Grundlage für ein Experteninterview dient der sogenannte Interviewleitfaden. Dieser enthält die zu stellenden Fragen und stellt das „Erhebungsinstrument“ (Gläser & Laudel, 2010, S. 142) für diese Methode dar. Er leitet die Interviewende Person möglichst gleichbleibend durch mehrere Interviews und kann dadurch verhindern, dass vom Thema abgewichen wird oder vorschnelle Schlüsse gezogen werden. Außerdem enthält dieser auch notwendige Hintergrundinformationen, die die Interviewende Person bei den Fragestellungen unterstützen. (Gläser & Laudel, 2010, S. 142 ff.)

Bei der Erstellung des Interviewleitfadens für die Experteninterviews im Rahmen dieser Arbeit wurde sich an den Beispielleitfäden orientiert (Gläser & Laudel, 2010, S. 302 ff.). Grundsätzlich müssen einige Regeln bei der Auswahl und Formulierung der Fragen beachtet werden. Fragen sollen möglichst offen, neutral und klar formuliert werden (Gläser & Laudel, 2010, S. 131 - 141), wobei auf eine einfache Sprache geachtet wird. Oft kann es von Vorteil sein, eine übergeordnete Frage in kleinere Detailfragen zu

unterteilen, da dadurch sichergestellt werden kann, dass der gewünschte Informationsgehalt auch erreicht wird. (Gläser & Laudel, 2010, S. 145)

Da es sich bei den Experteninterviews nicht um einen quantitative oder statistische Erhebung handelt (Kaiser, 2021), sondern um eine qualitative Analyseverfahren, birgt die Auswertung und Darstellung der Ergebnisse einige Herausforderungen. Die Auswertung dieser meist sehr langen zusammenhängenden Texte kann primär mittels Zitate oder durch eine Beschreibung der schwachen bis starken empirischen Befunde erfolgen. (Gläser & Laudel, 2010, S. 272 ff.)

3.1.2 Durchführung der Experteninterviews

Im Rahmen dieser Arbeit wurden zwei Experteninterviews durch die Autorin durchgeführt. Die nachfolgenden Ergebnisse werden in anonymisierter Form wiedergegeben.

- Interview 1:
 - Interviewte Person: Bürgermeisterin einer baden-württembergischen Kleinstadt; im Nachfolgenden [Expertin 1] genannt
 - Ort: Video Call
 - Datum: 19.10.2024, Dauer: 36 Minuten
- Interview 2:
 - Interviewte Person: Mitarbeiter in leitender Position im städtischen Gebäudemanagement einer westdeutschen Großstadt; im Nachfolgenden [Experte 2] genannt
 - Ort: Video Call
 - Datum: 21.11.2024, Dauer: 32 Minuten

Der Interviewleitfaden ist im Anhang A1 einsehbar.

Durch die unterschiedlichen Positionen, die die interviewten Personen innerhalb der öffentlichen Verwaltung einnehmen und den unterschiedlichen Größen der beiden Städte ist eine qualitative Aussage über lokale Disparitäten und Prozesse in Ergänzung zur Literaturrecherche möglich.

3.1.3 Qualitative Analyse der Ergebnisse aus den Experteninterviews

Zunächst wurde die Unterschiede zwischen ländlich geprägten kleineren Kommunen und größeren Kommunen verdeutlicht (Scheller et al., 2021). [Experte 2] schätzt den

Stand der Nachhaltigkeit bei städtischen Baumaßnahmen deutlich besser und die Herausforderungen als geringer ein. Im Interview wurde dies anhand einer Skala von eins bis zehn erfragt:

Wie schätzen Sie den Stand des nachhaltigen Bauens bei Ihnen in der Stadt ein?											
1= „Nachhaltigkeit spielt bei städtischen Baumaßnahmen keine Rolle.“											
10= „Es wird im städtischen Kontext ausschließlich nachhaltig gebaut.“											
Kleinstadt Expertin 1	1	2	3	4	5	6	X	7	8	9	10
Großstadt Experte 2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		X

Abbildung 19: Einschätzung der Expert:innen bezüglich dem Stand der Nachhaltigkeit bei städtischen Baumaßnahmen, eigen Darstellung

Auch der Wissensstand bezüglich Nachhaltigkeits- und Lebenszyklusaspekten unterschied sich zwischen den betrachteten Kommunen sehr. So verfügt die Großstadt aus Interview 2 über eine extra Stabstelle zum Klimaschutz und hat eigens für den städtischen Gebäudebestand Klimaschutzziele aufgestellt. Hierzu ein Gesprächsmittschnitt von [Experte 2]: „Wir haben dezidierte Beschlüsse, dass wir nur noch nachhaltig Bauen dahingehend, dass die Klimaziele der Stadt bis 2035 auch auf der kommunalen Gebäudeebene abgebildet [werden].“

Wohingegen laut Aussage der [Expertin 1] die Baumaßnahmen bei kleineren Städten und Kommunen sehr stark von der Persönlichkeitsstruktur der öffentlichen Verwaltung abhängen. So hat [Expertin 1] als Bürgermeisterin einer Kleinstadt die Entscheidungsbefugnis über städtische Baumaßnahmen. Dies verdeutlicht auch wieder das beschriebene Dilemma ländlicher Kommunen bezüglich fachlicher und personeller Kapazitäten und die starke Abhängigkeit der Investitionstätigkeiten von der Politik und Verwaltung einer Kommune (Scheller et al., 2021)

Bei der Befragung zum Wissensstand und Umsetzungsumfang von Lebenszyklusanalysen- und kostenberechnungen bei Baumaßnahmen war ebenfalls ein großer Unterschied erkennbar. So konnte [Experte 2] darlegen, dass „alle Maßnahmen immer hinsichtlich einer Lebenszyklusanalyse, beinhaltend einer Ökobilanzierung, umgesetzt werden und ab einem Baukostenwert von 15 Millionen Euro [müssen wir] auch nachhaltig zertifizieren.“ Die genannte Schwelle ist ein intern gesetzter Maßstab, um die Klimaziele der Stadt zu erreichen. Darüber hinaus werden Lebenszykluskostenrechnungen zukünftig bei allen Bauprojekten mit eingeführt.

Dagegen steht die Aussage von [Expertin 1]: „Die Herstellkosten stehen immer im Vordergrund, weil die Kommunen gerade kein Geld haben“. Es soll sich zwar zukünftig mehr auf die Langlebigkeit der Konstruktionen und auf die flexible Umnutzung durch modulares Bauen fokussiert werden, dennoch lag der Fokus bis jetzt noch nicht auf dem Lebenszyklus, sondern vermehrt auf der Errichtung.

Außerdem ging aus dem Gespräch mit [Expertin 1] hervor, dass auch in strukturellen Belangen die Großstädte schon einen Schritt voraus sind. So wird in der Kleinstadt aus Interview 1 gerade begonnen, ein Liegenschaftsportfolio aufzubauen, das die Priorisierung von Baumaßnahmen zulässt. Dieses Portfolio besteht in der Großstadt bereits in seinen Grundzügen. Ein ausgearbeiteter Schulentwicklungsplan und der Überblick über die dem städtischen Gebäudemanagement zuordenbaren Liegenschaften bilden die Basis für ein ganzheitliches Portfoliomanagement, das laut Aussage von [Experte 2] künftig ausgebaut werden soll.

Als größte Hürden bezeichneten beide kommunale Vertreter:innen unter anderem die öffentlichen Vergabevorschriften. [Experte 2] konkretisierte dies dahingehend, dass es einerseits manchmal notwendig wäre, produktspezifisch auszuschreiben, da so konkrete Nachhaltigkeitsaspekte umgesetzt werden können. Außerdem hinge laut [Experte 2] auch die Wahl fachkundiger Expert:innen mit der Öffentlichen Vergabe zusammen. So kann es sein, dass bei der Vergabe von Planungsleistungen Expert:innen den Auftrag bekommen, diese jedoch fachlich nicht, den von der Stadt aufgestellten, Nachhaltigkeitszielen nachkommen können. Gestiegene Ansprüche und die Komplexität der Bauvorhaben sind vor allem für kleine Städte laut [Expertin 1] aufgrund der personellen Kapazitäten sehr herausfordernd.

3.2 Aufstellung verschiedener Varianten der Lebenszykluskostenanalyse und Ökobilanz am Beispiel der Schlossbachschule Bonn

Um die Frage zur finanziellen Umsetzbarkeit nachhaltiger Sanierungen des kommunalen Baubestandes weiter zu untersuchen, wurden die konkreten Lebenszykluskosten auf Bauteilebene betrachtet. Auf Grundlage, der in den Kapiteln 1 und 2 erarbeiteten Herausforderungen und Grundlagen des lebenszyklusorientierten

Bauens soll eine Lebenszykluskostenanalyse Aufschluss über die langfristigen Auswirkungen verschiedener Bauweisen geben.

3.2.1 Die Schlossbachschule Bonn – Praxisbeispiel

Die Schlossbachschule Bonn wurde in mehreren Abschnitten in den Jahren 1961 bis 1965 geplant und errichtet. Schon damals wurde, wie im Lageplan in Abbildung 20 ersichtlich ist, die Schule in drei Haupttrakten mit verbindender Pausenhalle errichtet.

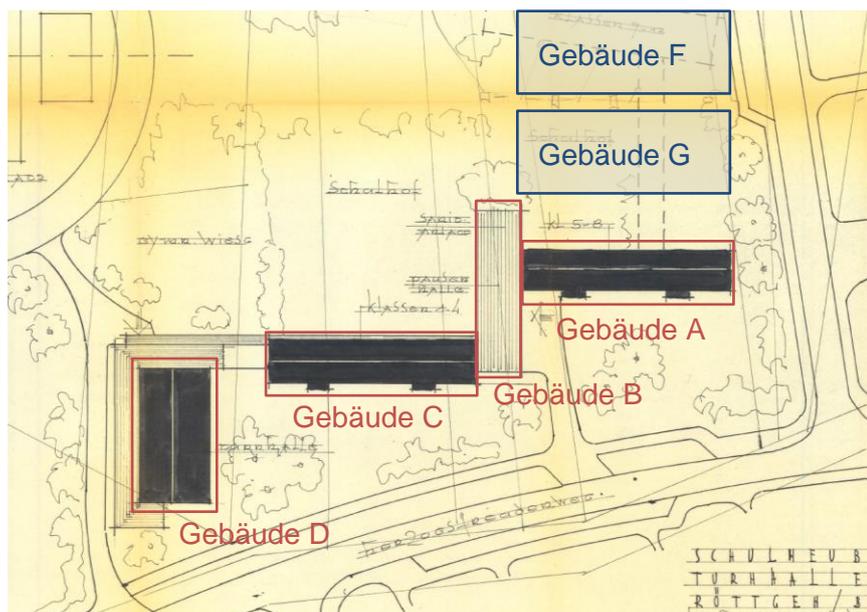


Abbildung 20: Ausschnitt aus dem Lageplan zum Schulneubau von K.F. Seidenabel Arch. BDA mit eigenen Ergänzungen zu den aktuellen Gebäudebezeichnungen der ursprünglichen Gebäude (rot) und der späteren Ergänzungen (blau)

Bis zur letzten Sanierung 2017 sind vermutlich andere Erweiterungen ergänzt worden. Dies wird im Vergleich der Bestandspläne der frühen 1960er Jahren mit den Planungs- und Luftbildunterlagen der jüngsten Maßnahmen deutlich. Es wurden nachträglich der in Abbildung 20 angedeutete Erweiterungsbau (Gebäude F) und ein von Beyss Architekten beschriebener „einstöckiger Zwischenbau“ (Gebäude G) westlich von Gebäude A zwischenzeitlich ergänzt. (Beyss Architekten GmbH)



Abbildung 21: Luftbild mit Beschriftungen (Beys Architekten GmbH)

Im Zuge der von Beys Architekten durchgeführten Baumaßnahme von 2017 bis 2022 wurden die Gebäude A, B, C, D und F modernisiert und energetisch ertüchtigt. Außerdem wurde das Gebäude G nach Abriss des einstöckigen Bestandsgebäudes neu errichtet. (Beys Architekten GmbH)

3.2.2 Rahmenbedingungen und Annahmen

Wie in Kapitel 2.2 erläutert, ist zur umfassenden und ganzheitlichen finanziellen Betrachtung verschiedener Varianten eine Lebenszyklusanalyse des ganzen Gebäudes notwendig. Orientiert man sich an den Vorgaben der DGNB oder am BNB, inkludiert dies die Betrachtung der Herstellkosten der KG 300, KG 400 (mit Ausnahmen) und der Betriebskosten.

Im Rahmen der Masterarbeit wird der Fokus auf die Außenwand des Gebäude A gelegt. Diese sehr eingegrenzte Betrachtung lässt eine detaillierte Analyse der einzelnen Bauteilschichten zu, die im Bestand notwendig sein kann. Im Kapitel 2.2.6 wird die Notwendigkeit der Untersuchung auf Schicht- bzw. Materialebene bezüglich der Kosten im Bestand weiter erläutert. Aufgrund des Umfangs solch einer Untersuchung, wird die LCC auf die Außenwand begrenzt. Die Außenwand ist ein Teil der thermischen Hülle eines Gebäudes, die bei energetischen Sanierungen meist optimiert wird. Außerdem ist die Fassade stark der Witterung ausgesetzt, was ebenfalls erheblichen Einfluss auf die Bauteile haben kann. (Walden & Borrelbach, 2002, 77 f.)

Bei dem Bestand handelt es sich um eine typische sogenannte einbündige Schule der Architektur der 60er Jahre (Vergleiche Kapitel 2.1). Über einen sich über die Länge des Gebäudes erstreckenden Flur werden einseitig nahezu quadratische Unterrichtsräume erschlossen. Scharte gibt in Ihrer Dissertation einen Überblick über die in der Literatur genannten Einordnungen der Baualtersklassen allgemeinbildender Schulen. Durch eine tiefgreifende Literaturrecherche „zeigt sich, dass der größte Anteil der Gebäude allgemeinbildender Schulen mit 40 % im Zeitraum von 1966 bis 1977 errichtet wurde.“ (Scharte, 2016, S. 58)

Außerdem nehmen Außenwandkonstruktionen bei Schulneubauten gemäß BKI Neubau Elemente 15% der Gesamtkosten der KG 300 und 400 ein. (BKI Baukosteninformationszentrum, 2024b, S. 178) Dadurch werden Außenwände zu einem maßgebenden Kosteneinfluss und verdienen eine genauere Betrachtung.

Durch die Begrenzung der Lebenszykluskosten auf die Außenwand bleiben sowohl ökologische als auch ökonomische Aspekte die während des Betriebs (B6 und B7) entstehen außer Betracht.

3.2.3 Überblick Vorgehen und Methodik

Im Folgenden wird ein Überblick über das Vorgehen und die Methodik gegeben. Die detaillierte Beschreibung der einzelnen Schritte folgt daraufhin in den nächsten Kapiteln.

Zunächst wurde eine Massenbilanz des Gebäudes A unter der Beachtung folgender Kostengruppen erstellt:

Tabelle 7: Übersicht über die betrachteten Kostengruppen und Bauteile, eigene Darstellung

Kostengruppen nach DIN 276		Ausgewählte Bauteile
212		Abbruch je nach Szenarien
310	Baugrube/Erdbau	
311	Herstellung	Bodenaushub bei baugleichem Neubau
320	Gründung, Unterbau	
322	Flachgründungen und Bodenplatten	Bodenplatte und Streifenfundamente
324	Gründungsbeläge	Estrich im KG
330	Außenwände/Vertikale Baukonstruktionen, außen	
331	Tragende/ nichttragende Außenwände	Außenwände im KG, EG, OG1 und DG; Gebäudetrennwand zu Gebäude B
334	Außenwandöffnungen	Türen und Fenster in Außenwänden

335	Außenwandbekleidungen, außen	Putz außen, Fassadensystem
336	Außenwandbekleidungen, innen	Putz innen
340	Innenwände/Vertikale Baukonstruktionen, innen	
341	Tragende/ nichttragende Innenwände	Trennwände im KG, EG und OG1
344	Innenwandöffnungen	Türen in Innenwänden
345	Innenwandbekleidungen	Putz auf Innenwänden
350	Decken/Horizontale Baukonstruktionen	
351	Deckenkonstruktionen	Tragende Geschossdecken, Treppen
352	Deckenbeläge	Estrich, Trittschall und Fußbodenbelag im EG und OG, Dämmung im DG

Im Anhang A2 und A3 finden sich die mit Hilfe einer Excel-Tabelle ermittelten genauen Massen für die oben beschriebenen Bauteile. Die Ermittlung erfolgte auf Grundlage der Ausführungsplanung von Beyss Architekten vom 04.09.2019.

Soweit es den Plänen zu entnehmen war, wurde in der Massenermittlung der Zustand vor der Sanierung und nach der Sanierung getrennt betrachtet. Die Öffnung der Außenwand für den Übergang zu Gebäude G wurde nicht mit aufgenommen. Das vereinfachte Modell geht auch im sanierten Zustand von der ursprünglichen Fassade ohne Übergang aus. Der Fokus dieser tieferehenden Untersuchung soll auf der allgemeinen Wandfläche liegen ohne die Berücksichtigung weiterer baulicher Eingriffe. Außerdem werden die vorhandenen Fenster- und Türflächen sowohl im sanierten als auch am unsanierten Zustand als unverändert angenommen.

Darüber hinaus werden auf Grundlage, der im Rahmen einer Ökobilanz ermittelten Umweltindikatoren, die Umweltfolgekosten der Bauweisen betrachtet und deren Einfluss auf die Kostenentwicklung veranschaulicht. Mehr hierzu den Kapiteln 3.2.7 und 3.2.8.

3.2.4 Vorstellung der untersuchten Außenwand-Varianten

Um den Unterschied zwischen nachhaltigen und konventionellen Bauweisen, aber auch zwischen Altbau und Neubau aufzuzeigen, wurde sich für die Aufstellung von insgesamt vier Varianten entschieden.

Hierbei handelt es sich um jeweils zwei Sanierungs- und zwei Neubauvarianten, einmal in nachhaltiger und einmal in konventioneller Bauweise. Diese werden im Folgenden mit ihren wichtigsten Kenngrößen und Aufbauten vorgestellt.

Grundsätzlich wurden die Außenwandaufbauten auf Ihre Bauordnungsrechtlichen Anforderungen geprüft, Besonderheiten für Brandwände, Brandabschnitte oder Gebäudeecken wurden nicht gesondert betrachtet. Da es sich bei der Schule Grundsätzlich um ein Gebäude der Gebäudeklasse 3 handelt (Bauordnung für das Land Nordrhein-Westfalen, 2018/01.01.2024), werden hier gemäß Schulbaurichtlinie an tragende und aussteifende Bauteile die Anforderungen der Gebäudeklasse 3 gestellt (Schulbaurichtlinie, 2020/9.12.2024). Des Weiteren wurde die Musterholzbaurichtlinie vor allem bei der Auswahl der Dämmungen beachtet. (MHolzBauRL/Okttober 2020)

3.2.4.1 Wandaufbau Variante A – konventionelle Sanierung

Die Variante A stellt die aktuelle Sanierung der Außenwand dar. Die Bestandsaußenwand aus Stahlbeton oder Ziegel (Schicht 2) bleibt hierbei erhalten und sofern es den Ausführungsplänen zu entnehmen ist, wurde diese mit Mineralwolle (Schicht 4) gedämmt und mit einer hinterlüfteten Fassade aus Faserzementtafeln (Schicht 6) mit Aluunterkonstruktion (Schicht 5) verkleidet. Abbildung 22 zeigt den schematischen Aufbau der Variante A:

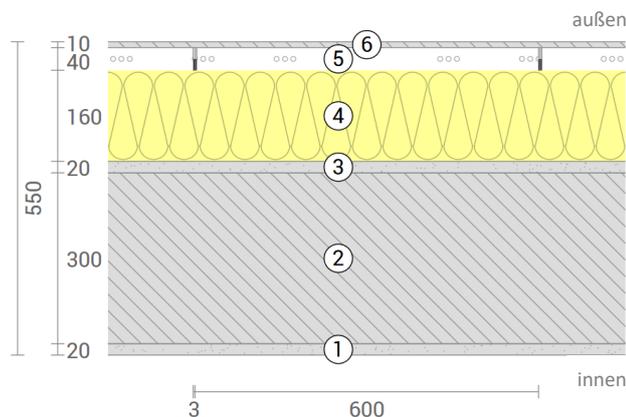


Abbildung 22: Variante A – konventionelle Sanierung, eigene Modellierung mit Darstellung von (Ubakus)

3.2.4.2 Wandaufbau Variante B – nachhaltige Sanierung

Die nachhaltige Sanierungsvariante basiert ebenfalls auf dem Gedanken, dass die bestehende Tragstruktur (Schicht 2) erhalten bleibt und mittels vorgefertigter Holzrahmenelemente (Schicht 4-7) und Holzfassade (Schicht 9) auf einer Holzunterkonstruktion (Schicht 8) ertüchtigt wird. Die Holzrahmenelemente sind mit Holzfasereinblasdämmung (Schicht 5) gefüllt. Die vorgehängte Fassade wird als geschlossene Fassade in Form einer Boden-Deckel-Schalung (Schicht 9) ausgeführt.

Methoden

Dies hat den Vorteil, dass dahinter auf eine weitere wasserführende Schicht in Form von einer Fassadenbahn verzichtet werden kann. (Nusser et al., 2024) Die dahinterliegende Holzfaserplatte (Schicht 7) sollte dennoch speziell für die Verwendung bei hinterlüfteten Fassaden zulässig sein.

Des Weiteren wird hier raumseitig ein Lehmputz (Schicht 1) auf die Bestandswand aufgebracht.

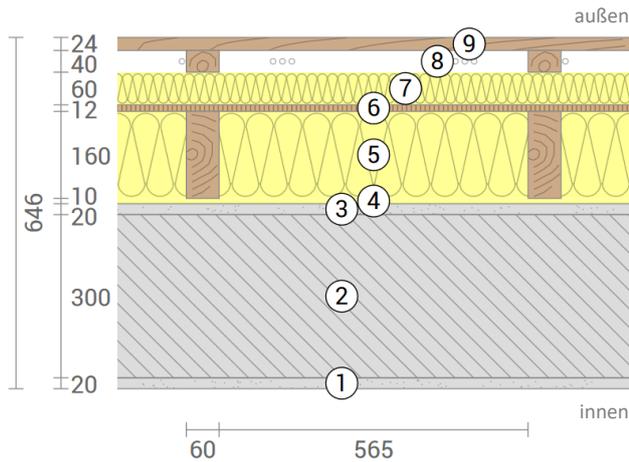


Abbildung 23: Variante B – nachhaltige Sanierung, eigene Modellierung mit Darstellung von (Ubakus)

3.2.4.3 Wandaufbau Variante C – konventioneller Neubau

Bei Variante C wird der vollständige Rückbau des Bestandes mit darauffolgendem Neubau aus Stahlbeton (Schicht 2) mit Mineralwolle WDVS (Schicht 3 und 4) tiefergehend betrachtet.

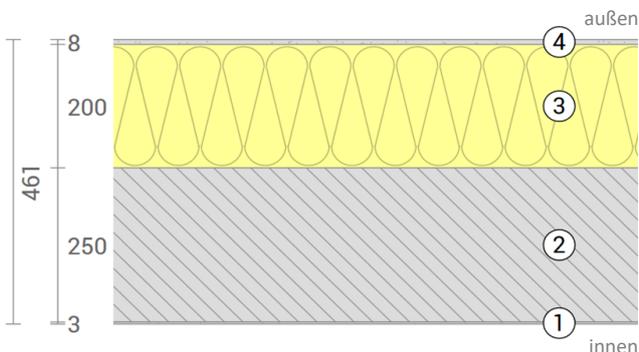


Abbildung 24: Variante C – konventioneller Neubau, eigene Modellierung mit Darstellung von (Ubakus)

3.2.4.4 Wandaufbau Variante D – nachhaltiger Neubau

Zum Vergleich zur Variante konventioneller Neubau soll nun eine nachhaltige Alternative ebenso Aufschluss auf die ökonomischen Aspekte ökologischer Neubauten geben. Als tragende Schicht wird hier eine Brettsperrholzwand (Schicht 1) eingesetzt und mit außenliegender mechanisch befestigter Holzfaserdämmung (Schicht 2) sowie einer vorgehängten hinterlüfteten Boden-Deckel-Schalung (Schicht 4) versehen. Auch diese Außenwandkonstruktion ist seriell vorzufertigen und Elementweise auf der Baustelle montierbar. Die Brettsperrholzwand bleibt hier raumseitig unverkleidet.

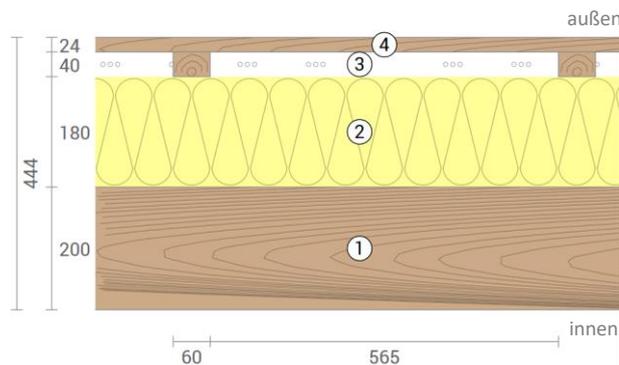


Abbildung 25: Variante D – nachhaltiger Neubau, eigene Modellierung mit Darstellung von (Ubakus)

3.2.5 Betrachtungsszenarien

Wie in Kapitel 2.2.3 beschrieben weisen die etablierten Ökobilanzierungs- und Lebenszyklusregelungen einige Beschränkungen auf. Um jedoch eine ganzheitliche Betrachtung über den Lebenszyklus der verschiedenen Außenwandvarianten aufstellen zu können, muss von den tradierten Bewertungsschemata abgewichen werden. Für die weitere Betrachtung wird sowohl der ganze oder teilweise Rückbau der bestehenden Bauteilschichten sowie zwei verschiedene Szenarien am Lebensende untersucht. Die Systemgrenzen für die Berechnungen werden neu formuliert:

Die klassische Herstellungs- und Errichtungsphase (A1-A3 & A4-A5) wird um den Aspekt der vorbereitenden Abbruchmaßnahmen (hier „A0“ genannt) ergänzt. Diese Bezeichnung weicht von der im Kapitel 2.2 aufgezeigten Lebenszyklusphasenbezeichnungen der DIN EN 16643 ab. In der Nutzungsphase wird der Ersatz (B4) des Bauteils berücksichtigt und am Lebensende der Rückbau bis zur Verwertung (C1-C4). Aufgrund der jeweiligen Datenlage werden die betrachteten Phasen in der Ökobilanz und der Lebenszykluskostenrechnung weiter eingegrenzt.

In der letzten Lebensphase werden zwei verschiedene Szenarien betrachtet. Im ersten Szenario werden am Ende des Betrachtungszeitraums nur die äußeren Bauteil- und Bekleidungsschichten rückgebaut und der tragende Teil der Außenwand bleibt erhalten. Im zweiten Szenario ist am Ende des Gebäudelebenszyklus der gesamte Rückbau der Außenwand vorgesehen.

Zusammen mit der vorangegangenen Variantenbeschreibung ergibt sich folgende Matrix. Die blau gekennzeichneten Felder (o) markieren den zusätzlichen Abriss der Tragstruktur am Ende des Betrachtungszeitraums in Szenario 2.

Tabelle 8: Überblick über die Varianten mit Szenario 1 (schwarz) und Ergänzung des vollständigen Rückbaus der Tragstruktur in Szenario 2 (blau)

KG	Bauteil - Bestand/Neu	Vorbereitung, Herstellung, Errichtung		Austausch	Rückbau
		„A0“	A1-A3 / A4-A5	B4	C1-C4
Sanierungs-Varianten A und B					
331	Tragende AW - Bestand				o
335/ 336	Bekleidung außen/innen - Bestand	x	x	x	x
335/ 336	Bekleidung außen/innen - Neu		x	x	x
Neubau-Varianten C und D					
331	Tragende AW - Bestand	x			
331	Tragende AW - Neu		x		o
335/ 336	Bekleidung außen/innen - Bestand	x			
335/ 336	Bekleidung außen/innen - Neu		x	x	x

3.2.6 Lebenszykluskosten

Zunächst würde sich die Arbeit mit dem vom BNB zur Verfügung gestellten Excel-Berechnungstools anbieten. Dieses weist eine benutzerfreundliche und intuitive Handhabung auf. Dabei werden die in Kapitel 2.2.5.2 beschriebenen Aspekte des BNB Schemas in einzelnen Arbeitsblättern des Excel-Tools bearbeitet. Es beinhaltet neben den Lebenszykluskosten für die Bauteile auch Aufwendungen für Reinigung von Böden und Fensterflächen, sowie Kosten für Energieversorgung und Wasser, bzw. Abwasser. Außerdem sind die Nutzungsdauern von Bauteilen und die Inspektions- und Wartungsanteile hinterlegt. Die aktuell zugängliche Version aus dem Jahr 2017 referenziert sich auf das Basisjahr 2014. (“Berechnungshilfe Für Die Ermittlung Der Lebenszykluskosten (LCC)“)

Gemäß BKI wurde das Basisjahr jedoch auf 2021 angehoben. (Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern GmbH) Die Preisindizierung kann auch durch die in Abbildung 26 dargestellte Eingabe umgangen werden. Dies hat zur Folge, dass die eingegebenen Preise soweit ersichtlich nicht angepasst werden. Jedoch ist nicht abschließend einsehbar, inwiefern diese Anpassung weitere Einflüsse auf die weitere Berechnungen hat.

Regelungsbereich	Vorgabewert BNB	Berechnungsgrundlage
Allgemeine Berechnungsgrundlagen		
BNB-Systemvariante	BNB_UN 2017 Schulgebäude	
Betrachtungszeitraum in Jahren	50	50
Allg. Preissteigerung in %	2,00%	2,00%
Preissteigerung Energie in %	5,00%	5,00%
Kalkulationszins in %	1,50%	3,00%
Preisindizierung		
Basisjahr für die Preisindizierung	4. Quartal 2014	
Preisstand Basisjahr in %	110,00%	
Preisstand Projekt	2. Quartal 2022	
Preisindex Projekt (zu Basisjahr) in %	110,00%	
Faktor Preisindizierung	100,00%	
Berechnungsgrundlagen Kosten der Wasserver- und entsorgung		
Kosten Frischwasser in €	2,01 €	
Kosten Niederschlagswasser in €	1,10 €	
Kosten Abwasser aus Brauchwasser in €	2,14 €	
Projektdateien		
Bruttogrundfläche (BGF)	1,00 m ²	

Abbildung 26: Ausschnitt aus dem Excel-Tool zur Ermittlung der Lebenszykluskosten gemäß BNB, (“Berechnungshilfe Für Die Ermittlung Der Lebenszykluskosten (LCC)”)

Des Weiteren sollen im Rahmen dieser Arbeit auch die CO₂-Preise mit in die Betrachtung einfließen, weshalb sich im Laufe der Arbeit der Aufbau einer individuellen und eigens für diesen Zweck gestalteten Excel-Tabelle als Berechnungsmethode entschieden wurde. Dies birgt außerdem den Vorteil, dass die ermittelten Massen, die verschiedenen Kostenarten, die CO₂-Bepreisungen und ökologischen Kennwerte in einer referenzierbaren Datei bearbeitet werden können.

Die Kostenwerte wurden, wie in Kapitel 2.2.7 beschrieben, aus dem Baukostenindex und der STLB-Datenbank entnommen. Um realistische Kostenwerte abbilden zu können, ist ein Vergleich verschiedener Preise notwendig. Die Quelle der zum Vergleich herangezogener Daten ist im Anhang A4 der jeweiligen Bauteilschicht oder Maßnahme zugeordnet.

Wichtig ist hierbei, dass die verglichenen Daten aus dem gleichen Jahr stammen, oder auf dieses mittels Faktoren angepasst werden. Das BKI gibt Kostenindizes pro Quartal an, die untereinander referenzierbar sind. Im Rahmen dieser Arbeit wurde jedoch mit den aktuellen Tabellenwerten aus dem Jahr 2024 gearbeitet, weshalb diese Anpassung nicht notwendig war.

Methoden

Die Kostenkennwerte wurden anschließend in der jeweiligen Bezugseinheit mit der zugehörigen Menge aus der Massenermittlung verknüpft. Das heißt aus dem Einheitspreis pro Einheit ergibt sich ein Gesamtpreis. Die in Kapitel 2.2.4 beschriebene Formel zur Ermittlung des Barwertes wurde für Kosten, die nicht im ersten Jahr des Betrachtungszeitraums anfallen und somit diskontiert werden müssen hinterlegt. Es wurde eine Inflationsrate von 2% und ein Zinssatz von 3% angenommen. Außerdem wurde für Kosten, die den Fachbüchern des BKI entnommen ein Regionalfaktor von 0,918 für die Stadt Bonn angenommen. (BKI Baukosteninformationszentrum, 2024c, 1000 ff.) Wurden Kostenwerte dem BKI Baukosten Elemente Neubau entnommen, müssen diese noch auf den Netto-Betrag umgerechnet werden, da diese inklusive 19% Mehrwertsteuer angegeben sind. (BKI Baukosteninformationszentrum, 2024b)

Bei der Betrachtung der Lebenszykluskosten wurden, die in Tabelle 9 dargestellten, Lebenszyklusphasen zuzüglich der gewählten Phase „A=“ betrachtet. Diese unterscheiden sich von denen in Kapitel 2.2 beschrieben insofern, dass sich die ökologische Bewertung der Bausubstanz mittels Ökobilanzierung auf Grundlage der Umweltproduktdeklaration maßgeblich auf Materialien bezieht. Bei der ökonomischen Betrachtung spielen jedoch ganze Prozesse eine wichtige Rolle, da die Kostenwerte sowohl Material als auch Lohn beinhalten. (BKI Baukosteninformationszentrum, 2024b, S. 64) Die Verteilung variiert dabei stark, wie in der STLB Datenbank erkennbar wird. (GAEB & Hauptausschuss im Deutschen Vergabe- und Vertragsausschuss für Bauleistungen (DVA)

Tabelle 9: Übersicht über die in der Lebenszykluskostenanalyse betrachteten Lebenszyklusphasen, eigene Darstellung

Herstellungsphase			Errichtungsphase		Nutzungsphase	Ende des Lebenszyklus			
Rohstoffbeschaffung	Transport	Produktion	Transport	Einbau	Austausch	Abbruch	Transport	Abfallverwertung	Entsorgung
A1	A2	A3	A4	A5	B4	C1	C2	C3	C4

Der Wert für den Austausch setzt sich aus den diskontierten Abbruch- sowie Herstellungs- und Errichtungskosten zusammen.

Sowohl das BKI als auch die STLB Datenbank gibt wie in Kapitel 2.2.5 beschrieben „Von-Bis-Werte“ an, diese wurden in der Excel-Tabelle dargestellt und daraus die relative Abweichung nach oben und unten sichtbar gemacht. Die Abweichung nach oben ist wahrscheinlicher, als eine Abweichung vom Mittelwert nach unten (vergleiche Kapitel 2.2.5).

Im Anhang A4 sind die Hintergrunddaten, die zur Kostenermittlung herangezogen wurden, einsehbar. Der Anhang A5 stellt die zur Berechnung gewählten Kostenwerte dar und der Anhang A8 und A9 die Zusammenfassung der Ergebnisse in tabellarischer und grafischer Form. Eine Zusammenfassung der beschriebenen Methodik stellt schematisch folgende Abbildung dar:

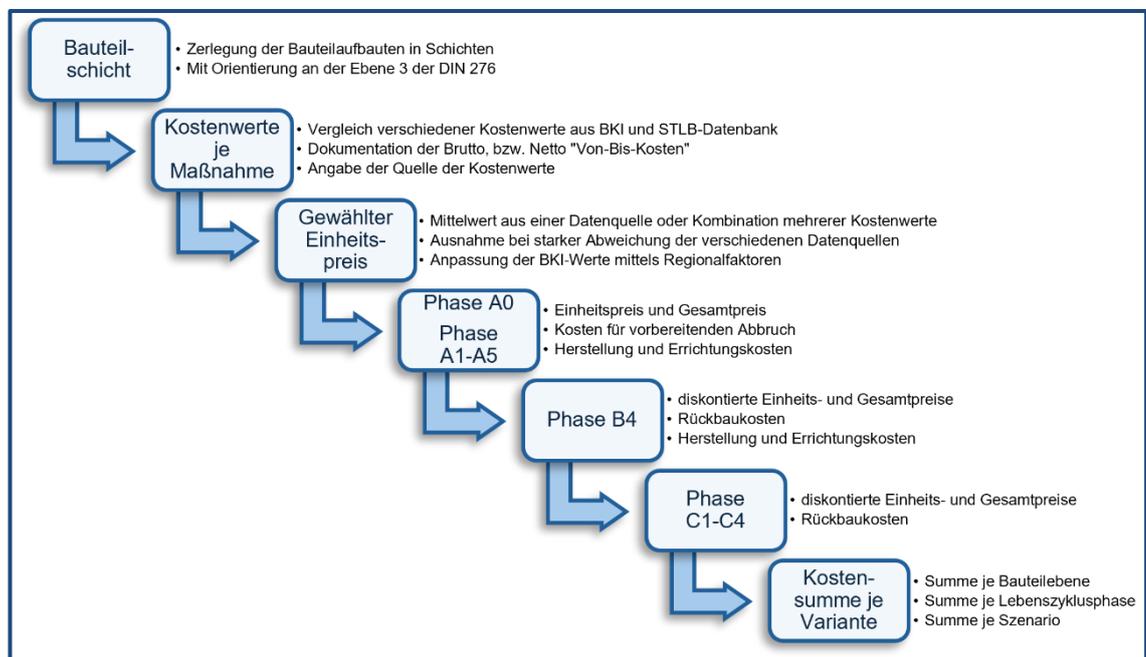


Abbildung 27: Schema der Kostenermittlung und Datenauswahl, eigene Darstellung

Im Folgenden wird die Kostenermittlung der vier Varianten und deren Ergebnisse bezogen auf 1m² Außenwand (m² AW) in absoluten Werten [€/m²AW] und als prozentuale Verteilung dargestellt.

3.2.6.1 Wandaufbau Variante A – konventionelle Sanierung

Der BKI Positionen Altbau gibt zur Putzsanierung mehrere Maßnahmen vor. So kann zum einen zwischen einer Ausbesserung und Spachteln von Teilflächen oder dem Anbringen einer neuen Schicht Ausgleichsputz unterschieden werden. (Anhang A4) Da es zu diesem Zeitpunkt der Kostenermittlung noch nicht abschließend geklärt ist, wie genau der Zustand aller Innenputzflächen ist, wird hier ein Wert angenommen, der etwa

Methoden

im Mittelfeld verortet werden kann. Eine ähnliche Abwägung fand auch beim Instandsetzen des Außenputzes statt, jedoch wird hier der Aufwand als nicht so groß geschätzt, da die entstehende Oberfläche nicht sichtbar bleibt, sondern mit einer Fassadekonstruktion versehen wird.

Auch bei der Wahl der Kostenwerte für die Fassadengestaltung aus Mineralwolle-Dämmplatten, Aluminiumunterkonstruktion und Faserzementplatten wurden verschiedene Quellen verglichen. Der BKI Baukosten Elemente Neubau liefert Kostenwerte für einen fertigen Aufbau einer Außenwandbekleidung aus oben genannten Materialien, dieser Wert liegt jedoch deutlich über dem aus den einzelnen Positionen zusammengetragenen Kostenwert aus den BKI Positionen Altbau und Neubau. Die genauen Werte und Positionsbezeichnungen sind dem Anhang A4 zu entnehmen.

Bei den Entsorgungskosten wurde größtenteils auf die STLB-Datenbank zurückgegriffen, da sich hier für viele verschiedene Materialien und Bauteilschichten Abbruch- und Entsorgungskosten ermitteln lassen. Da es sich bei der STLB-Datenbank wie in Kapitel 2.2.7 beschrieben um dynamische Baudaten handelt, muss sichergestellt werden, dass sowohl der Abbruch als auch die eigentlichen Entsorgungs- und Transportkosten mit enthalten sind. Dies garantiert eine Vergleichbarkeit mit den Abbruchkosten des BKI, die ebenfalls diese Phasen berücksichtigen. (BKI Baukosteninformationszentrum, 2024a, 693 ff.)

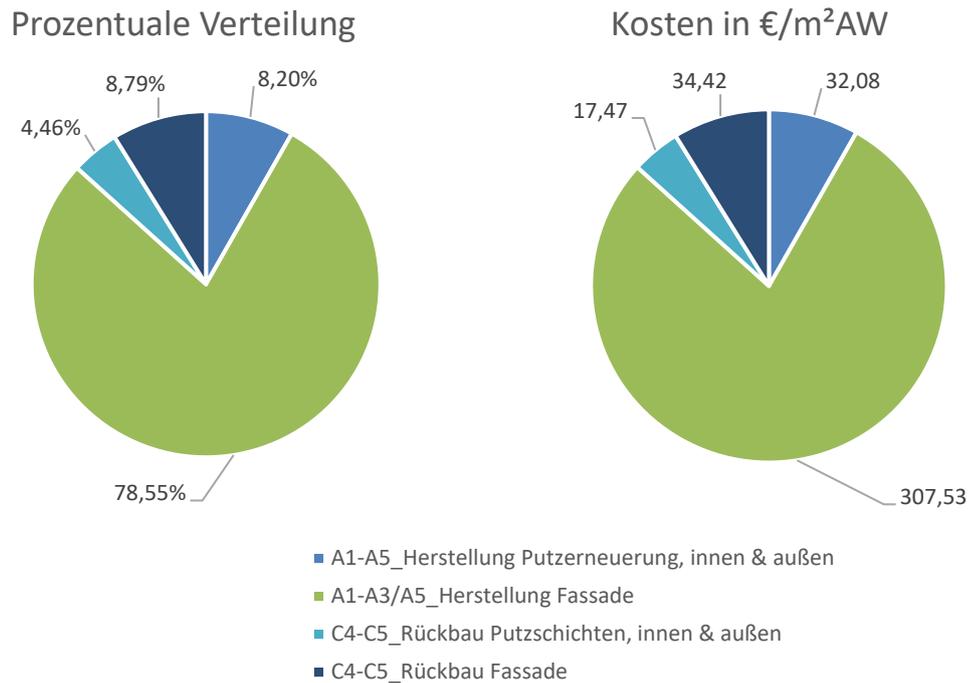


Abbildung 28: Kosten der Bauteilschichten und Phasen in €/m²AW und Prozentualer Anteil der Kosten der einzelnen Bauteilschichten den Gesamtkosten pro m²AW der Variante A – konventionelle Sanierung im Szenario 1

Hieraus wird klar ersichtlich, dass die Herstellkosten sowohl der Fassade als auch der Putzerneuerungen innen und außen circa 90% der gesamten Kosten einnehmen.

Im Szenario 2 beträgt der Anteil für den Rückbau der Tragstruktur circa 9% der Gesamtkosten.

3.2.6.2 Wandaufbau Variante B – Nachhaltige Sanierung

Diese Sanierungsvariante zeichnet sich durch die energetische Sanierung in Form von vorgefertigten Holzrahmenmodulen mit Einblasdämmung aus.

Kostentechnisch lässt sich diese Variante durch die BKI-Baukosten nur schwer abbilden, da die Bauteilaufbauten im BKI Baukosten Elemente Neubau lediglich Holzunterkonstruktionen mit Mineralwolle angeben. (BKI Baukosteninformationszentrum, 2024c, S. 545) Im Vergleich ist der im BKI Positionen Neubau angegebene Wert für eine nicht sichtbare Holzständerwand zuzüglich der Kosten für die Boden-Deckelfassadenbekleidung deutlich höher. (BKI Baukosteninformationszentrum, 2024b, S. 294) Somit wurde hierfür die STLB Datenbank hinzugezogen, bei der sich der genaue Aufbau der vorgehängten Fassadenmodule genau darstellen lässt. Dieser wurde anschließend mit dem

Methoden

Kostenwert für die Boden-Deckel-Verkleidung kombiniert und ergibt einen aussagekräftigen und realistischen Wert für diese Fassadenkonstruktion an.

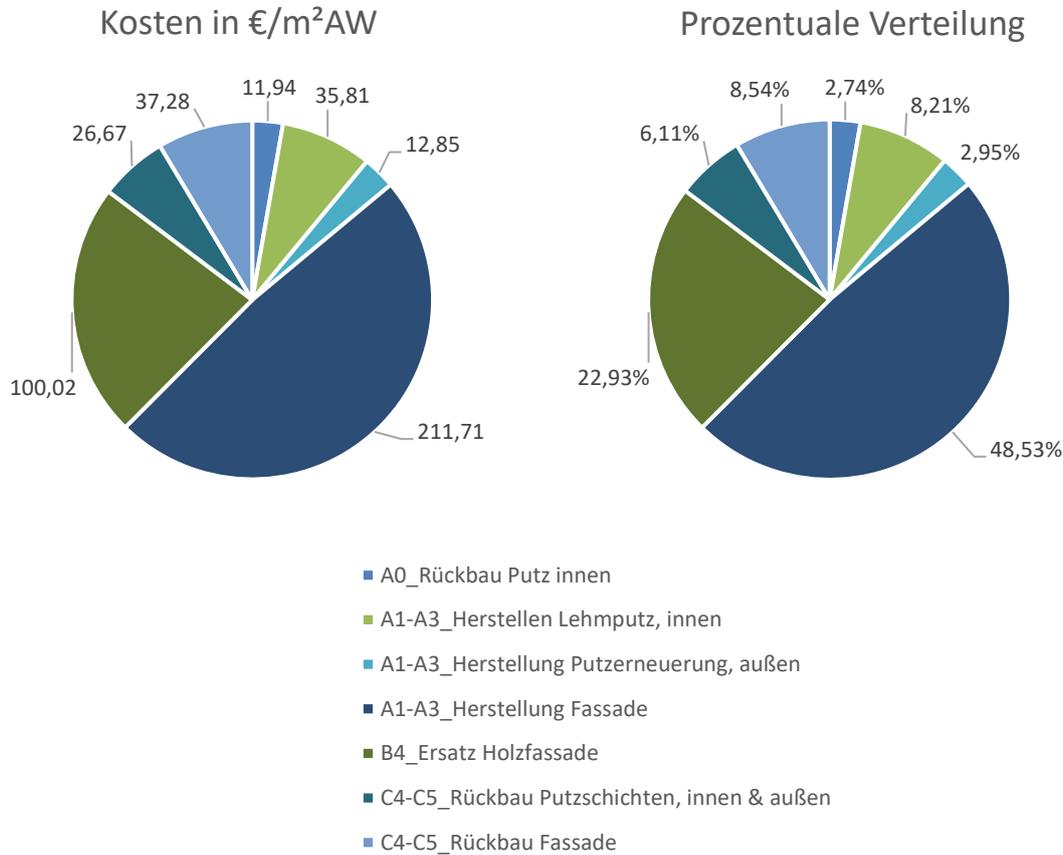


Abbildung 29: Kosten der Bauteilschichten und Phasen in €/m²AW und Prozentualer Anteil der Kosten der einzelnen Bauteilschichten den Gesamtkosten pro m²AW der Variante B – nachhaltige Sanierung im Szenario 1

Bei der nachhaltigen Sanierungsvariante ist deutlich der Anteil von 23% für den Ersatz der Holzbekleidung auszumachen. Außerdem wird in dieser Variante der Innenputz ganzflächig abgetragen und ein Lehmputz aufgebracht. Die Herstellung der Holzfassadenmodule ist günstiger als die Herstellung der konventionellen Variante im vorangegangenen Kapitel.

3.2.6.3 Wandaufbau Variante C – Konventioneller Neubau

Der Rückbau der vorhandenen Tragstruktur in der ergänzten Phase „A0“ nimmt hierbei lediglich 10 % der Gesamtkosten ein. Gemäß BNB-Tabelle zu den Lebensdauern von Bauteilen werden für das WDVS System 40 Jahre angenommen. (BBSR, 2017a) Dies bedeutet, dass auch hier im Betrachtungszeitraum von 50 Jahren ein Austausch notwendig ist. Sehr interessant ist, dass die Entsorgungskosten für das WDVS fast genauso hoch sind wie die diskontierten Herstellungs- und Errichtungskosten.

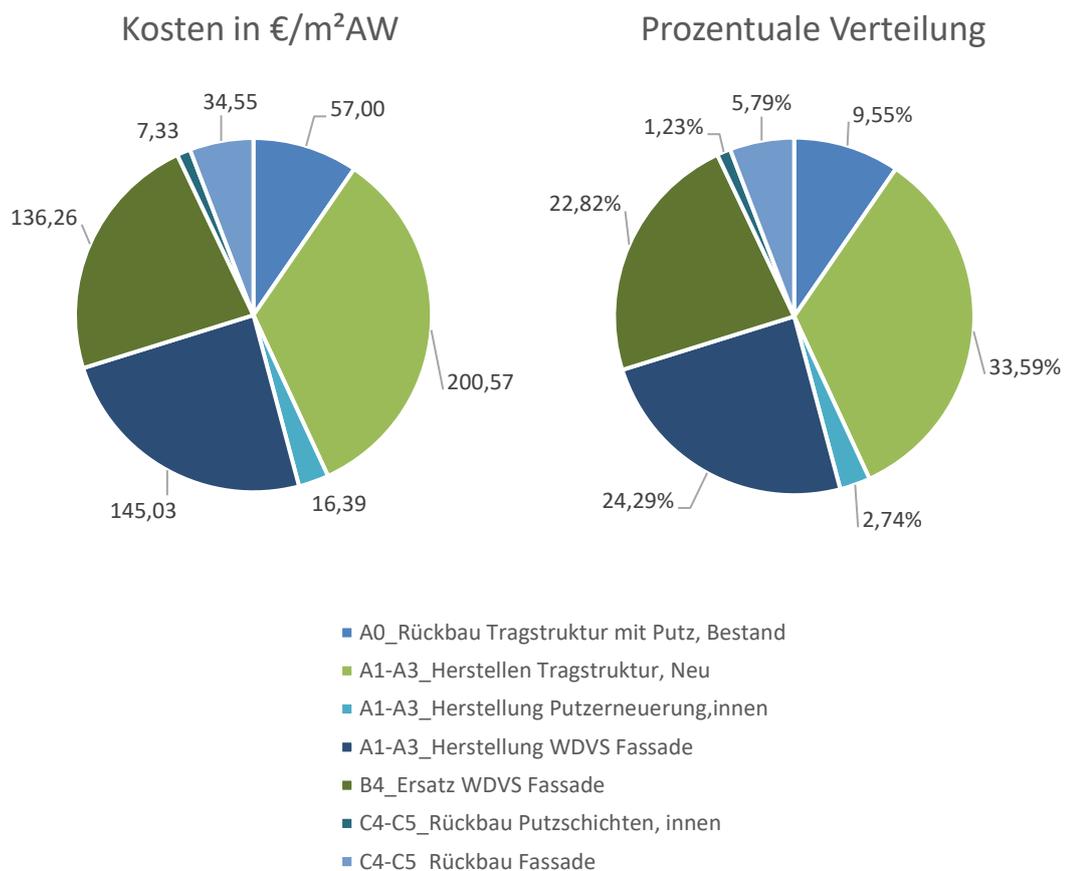


Abbildung 30: Kosten der Bauteilschichten und Phasen in €/m²AW und Prozentualer Anteil der Kosten der einzelnen Bauteilschichten den Gesamtkosten pro m²AW der Variante C – konventioneller Neubau im Szenario 1

3.2.6.4 Wandaufbau Variante D – Nachhaltiger Neubau

Die Lebenszykluskosten des nachhaltigen Neubaus sind im Szenario 1, also ohne Rückbau der Tragstruktur, vergleichbar mit denen des konventionellen Neubaus. Der Rückbau der Tragstruktur im Szenario 2 ist hier jedoch etwas geringer.

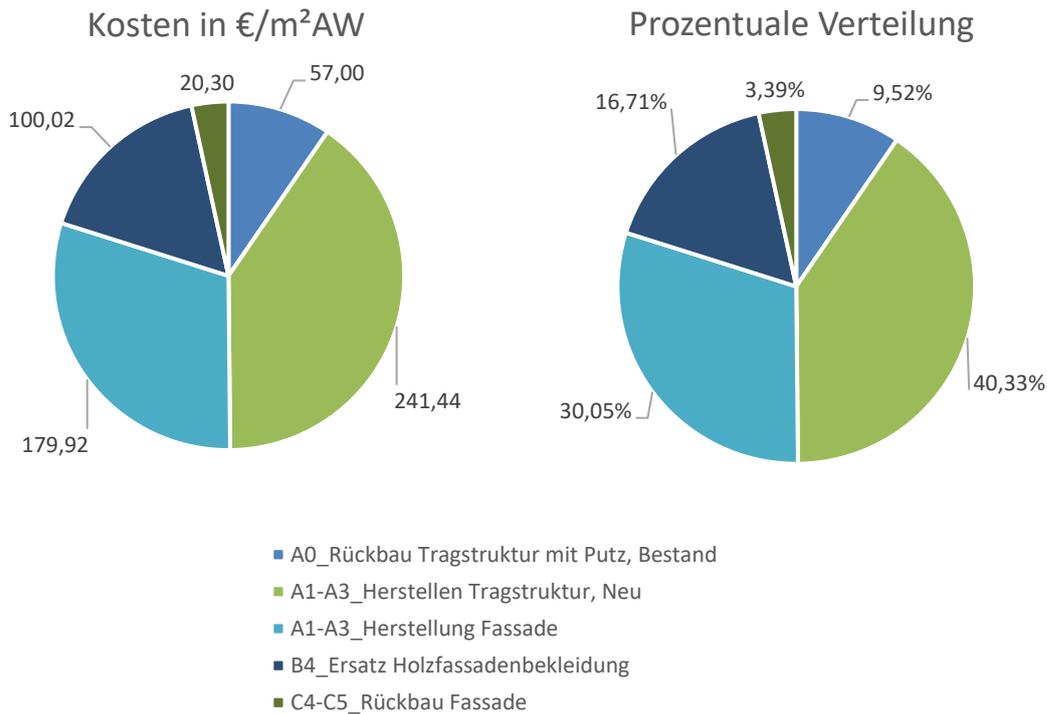


Abbildung 31: Kosten der Bauteilschichten und Phasen in €/m²AW und Prozentualer Anteil der Kosten der einzelnen Bauteilschichten an den Gesamtkosten pro m²AW der Variante D – nachhaltiger Neubau im Szenario 1

3.2.7 Umweltwirkungen

Die Umweltwirkungen der verbauten Materialien wurden mittels der Studentenversion des Anbieters OneClick LCA auf Grundlage der Level(s)-Regelungen berechnet. Es wurden aufgrund vordefinierter und benutzerspezifischer Einstellungen ausschließlich für Deutschland gültige Datensätze der DIN EN 15804 +A2 (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2022; Masson) aus der ÖKOBAUDAT und des Instituts Bauen und Umwelt e.V. verwendet. (“One Click LCA”)

Die Wahl der sogenannten Ressource verknüpft einen EPD-Datensatz mit den errechneten Mengen. Zusätzlich kann nun noch die Nutzungsdauer und ein End-Of-Life Prozess, also ein Prozess für das Lebensende des Materials definiert werden. Hier wurde der Prozess gemäß Umweltproduktdeklaration gewählt. (“One Click LCA”) Die Abbildung 32 bietet einen Überblick über die Anwendungsoberfläche von One Click LCA.

☰ Drag here to set row groups

Name der Ressource	↓	Land	Menge	Einheit	Nutzungsdauer Jahre	EoL-Prozess
<input type="checkbox"/> unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 24...	?	🇩🇪	52.62	m3	Wie Gebäude	Use EoL defined in EPD
<input type="checkbox"/> Wood fibers insulation, blown, L=0.039-0.041 W/mK, 2...	?	🇩🇪	73.43	m3	Wie Gebäude	Use EoL defined in EPD
<input type="checkbox"/> Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10.7% H2...	?	🇩🇪	11.41	m3	Wie Gebäude	Use EoL defined in EPD
<input type="checkbox"/> Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10.7% H2...	?	🇩🇪	16.52	m3	30	Use EoL defined in EPD
<input type="checkbox"/> Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m3 (Bundesverband d...	?	🇩🇪	50.01	m3	Wie Gebäude	Use EoL defined in EPD
<input type="checkbox"/> Lehmputz, 900 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	?	🇩🇪	9.95	m3	50	Use EoL defined in EPD
<input type="checkbox"/> Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, re...	?	🇩🇪	9.57	m3	Wie Gebäude	Use EoL defined in EPD
<input type="checkbox"/> Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	?	🇩🇪	4.97	m3	50	Use EoL defined in EPD
<input type="checkbox"/> Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	?	🇩🇪	4209.88	kg	Wie Gebäude	Use EoL defined in EPD

Abbildung 32: browserbasierte Eingabeoberfläche von One Click LCA, (“One Click LCA”)

Die Ergebnisse werden in One Click LCA in Form einer in der browserbasierten Anwendung einseharen Zusammenfassung wiedergeben. Des Weiteren kann ein ausführlicher Ergebnisbericht als Excel-Dokument heruntergeladen werden. In der weiteren Verarbeitung musste aufgrund der gewählten Systemgrenzen, der Wert für die Phase B4-B5 angepasst werden.

B4-B5	Austausch und Modernisierung	2,10E+03
B4-B5a	Materialersatz - Materialien	1,73E+03
B4-B5b	Materialersatz - Transport	6,70E+01
B4-B5b-leg2	Materialaustausch - Transportstrecke 2	
B4-B5c	Materialersatz - Abfall	3,09E+02

In Abbildung 33 ist der durch One Click LCA automatisch berechnete „Transport“- und „Materialersatz-Abfall“- Anteil zusehen. Über die Umweltproduktdeklaration ist jedoch nur der Materialeinsatz und der entstehende Abfall der verwendeten Ressource belegbar.

Abbildung 33: Ausschnitt Ergebnisbericht (“One Click LCA”)

Das heißt die Phase B4 setzt sich aus Herstellung (A1-A3) und Rückbau (C3-C4) ohne die Transporte zur und Aufwendungen auf der Baustelle zusammen. Dies wurde in der Berechnung insofern berücksichtigt, als dass die Werte für B4 manuell aus A1-A3 und C3-C4 aufsummiert wurden.

Für die Erstellung der Ökobilanz der Bauteilaufbauten wurden aufgrund der oben genannten Datenlage der Umweltproduktdeklarationen die Phasen analog zur DGNB-Regelung in Tabelle 1 in Kapitel 2.2.3.1 wie folgt verwendet.

Tabelle 10: Ausgewählte Lebenszyklusphasen zur Erstellung der Ökobilanz auf Bauteilebene, eigene Darstellung

Herstellungsphase			Nutzungsphase	Ende des Lebenszyklus	
Rohstoff-beschaffung	Transport	Produktion	Austausch	Abfall-verwertung	Entsorgung
A1	A2	A3	B4	C3	C4

Zur Berechnung der CO₂-Umweltfolgekosten wird gemäß Kapitel 2.2.9 nur das fossile GWP betrachtet, da dieses für die Berechnung des CO₂-Preises ausschlaggebend ist.

3.2.7.1 Wandaufbau Variante A – konventionelle Sanierung

Die Sanierungsvariante A stellt die konventionellen Sanierungsstand mit Mineralfaser und Faserzementplatten dar.

Grundsätzlich wurde ein Ausgleichsschicht von 3mm innen und 1mm außen auf den bestehenden Putz angenommen. Diese Annahme basiert darauf, dass die innere Putzschicht später sichtbar sein wird, weshalb der aufgetragene Oberputz vollflächig und in ausreichender Dicke vorhanden sein sollte. An der Außenseite der Wand ist eine weitere Verkleidung durch Dämmung und die hinterlüftete Fassade vorgesehen, weshalb hier lediglich teilflächenweise Ausbesserungen vorgenommen werden müssen. Diese Ausbesserungsarbeiten werden flächig als 1mm Putzstärke angenommen. Abbildung 34 stellt die absoluten Mengen fossiles GWP pro m² Außenwand dar und deren prozentualen Anteil am gesamten GWP der Konstruktion. Es wird ersichtlich, dass der größte Anteil (34,46 kgCO₂-Äq./m²AW) des fossilen GWPs bei der Herstellung der Fassade aus Mineralwolle, Faserzementplatten und Aluminiumunterkonstruktion entsteht. Wird das Szenario 2, also der Rückbau der Tragstruktur am Ende des Lebenszyklus betrachtet, so verändert sich das Verhältnis des in der Herstellung und dem Rückbau verursachten fossilen GWPs um den Anteil des durch den Rückbau der tragenden Stahlbeton- bzw. Mauerwerkswände entstehenden GWPs. Dieser Anteil beträgt jedoch nur etwa 2 % des gesamten GWPs. Diese und weitere Ergebnisse sind in Anhang A7 zu sehen.

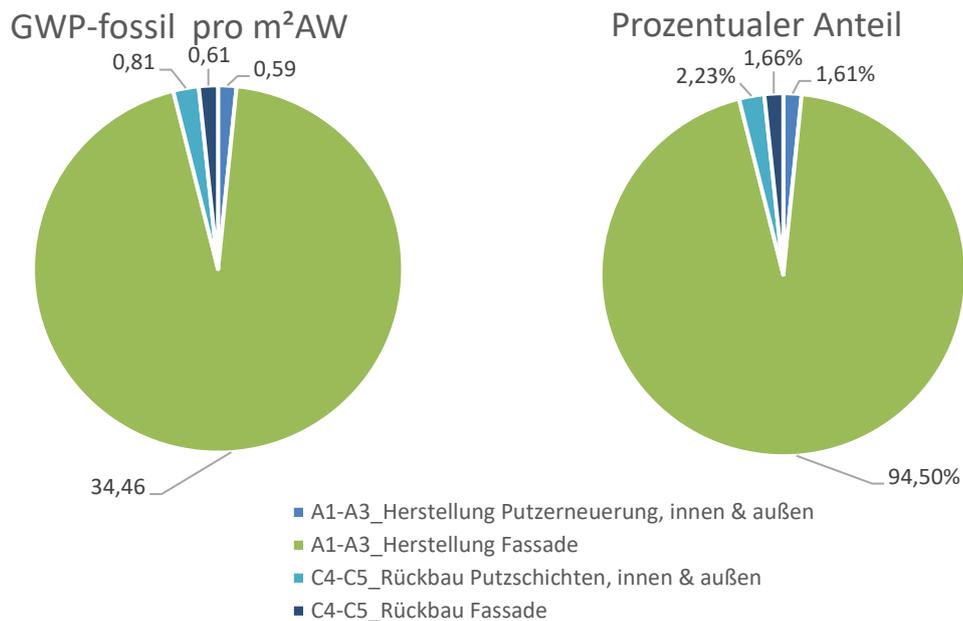


Abbildung 34: Menge des fossilen GWP/m²AW [kgCO₂-Äq] und Prozentualer Anteil des GWP-fossil der einzelnen Bauteilschichten am Gesamt GWP der Variante A – konventionelle Sanierung im Szenario 1

3.2.7.2 Wandaufbau Variante B – nachhaltige Sanierung

In der Variante B werden sowohl die Auswirkungen einer alternativen und nachhaltigeren Fassadenuntersuchung beleuchtet als auch der Einsatz eines baubiologisch wirksamen und gesundheitsfördernden Lehmputzes. Es wird angenommen, dass der bestehende Innenputz vollflächig abgeschlagen und ein neuer Lehmputz aufgebracht wird. Lehm besitzt aufgrund seiner feuchteregulierenden Eigenschaften einen raumklimatischen Vorteil gegenüber herkömmlichen Putzen und kann somit dazu beitragen, den Herausforderungen an das Raumklima bei der Sanierung bestehender Klassenräume durch Einsatz ökologischer Materialien zu entgegen. (Minke, 2017, 12 f.)

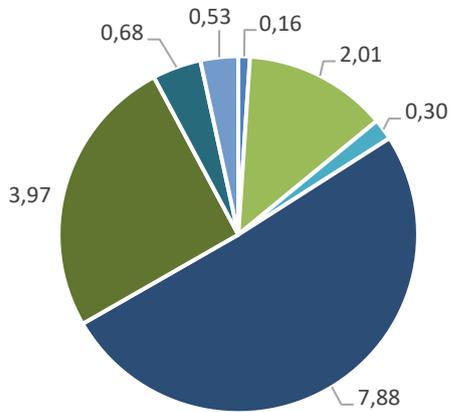
Mit dem äußeren Putz wird wie in der Variante A verfahren und dieser in Teilflächen ausgebessert.

Über den gesamten Lebenszyklus werden bei dieser Sanierungsvariante etwa 15 kgCO₂-Äq/m²AW fossiles GWP verursacht, dies sind etwa 43% des in der Variante A entstehenden fossilen GWPs. Den größten Anteil trägt die Herstellung der Fassade in Holzrahmenart. Im Szenario 2 mit Rückbau der Tragstruktur nimmt diese bei der nachhaltigen Sanierung anteilig einen höheren Prozentsatz ein, da das gesamte fossile GWP bei dieser Phase deutlich geringer ist. Der Tragstruktur-Rückbau macht demnach

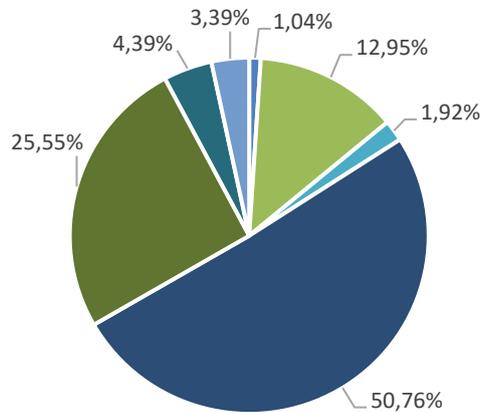
Methoden

in dieser Variante 4,8% aus. In Anhang A9 sind weitere Grafiken auch zum zweiten Szenario abgebildet.

GWP fossil /m²AW Var. B Sz.1



Prozentualer Anteil Var. B Sz.1



- A0_Rückbau Putz innen
- A1-A3_Herstellen Lehmputz, innen
- A1-A3_Herstellung Putzerneuerung, außen
- A1-A3_Herstellung Fassade
- B4_Ersatz Holzfassade
- C4-C5_Rückbau Putzschichten, innen & außen
- C4-C5_Rückbau Fassade

Abbildung 35: Menge des fossilen GWP/m²AW [kgCO₂-Äq] und Prozentualer Anteil des GWP-fossil der einzelnen Bauteilschichten am Gesamt GWP der Variante B – nachhaltige Sanierung im Szenario 1

Es ist hierbei anzumerken, dass die Erneuerung der Holzfassade etwa ein Viertel und deren Erstherstellung etwa die Hälfte des gesamten GWP dieser Variante ausmachen.

3.2.7.3 Wandaufbau Variante C – konventioneller Neubau

In Variante C wird die gesamte Außenwand abgerissen und in Form einer Stahlbetonwand mit Mineralwolle WDVS neu aufgebaut.

Wie zu erwarten war, ergeben sich hierbei die größten fossilen CO₂-Emissionen in Höhe von 93,25 kg CO₂-Äq/m² AW. Dabei trägt wie in Abbildung 36 zu erkennen ist die Herstellung der neuen Tragstruktur mit 61% am meisten bei.

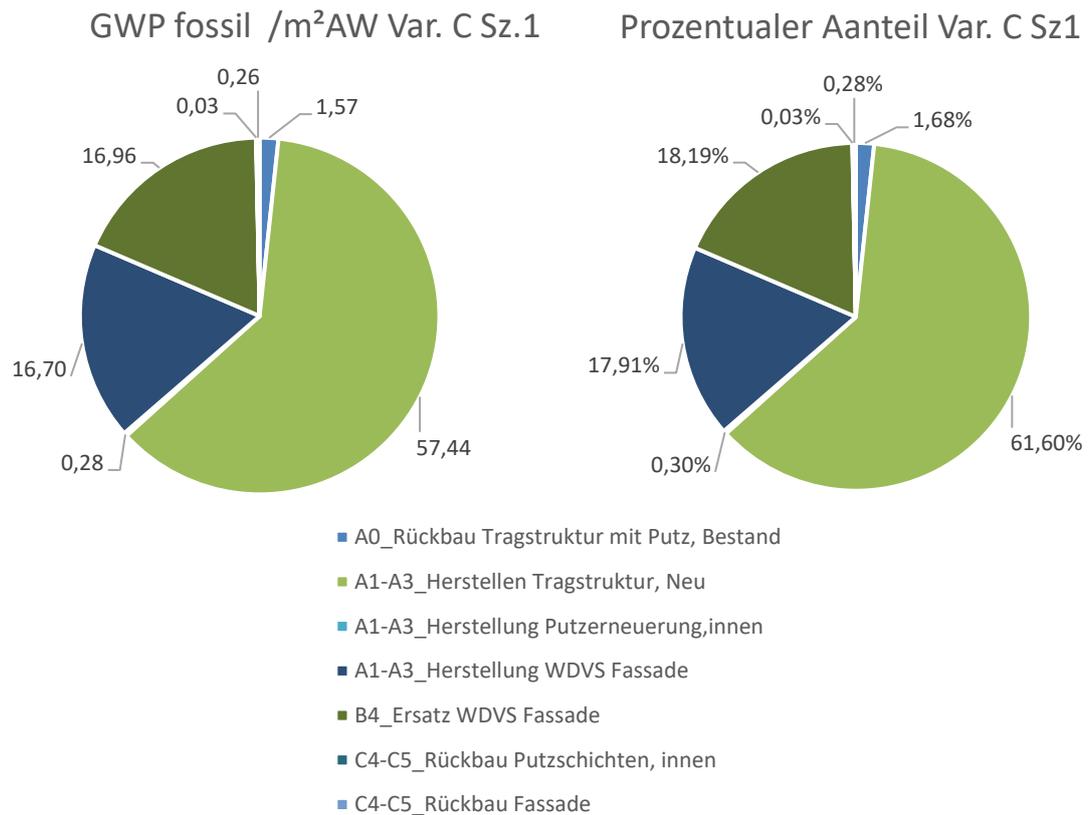


Abbildung 36: Menge des fossilen GWP/m²AW [kgCO₂-Äq] und Prozentualer Anteil des GWP-fossil der einzelnen Bauteilschichten am Gesamt GWP der Variante C – konventioneller Neubau im Szenario 1

3.2.7.4 Wandaufbau Variante D – nachhaltiger Neubau

In der Variante D wird, wie beim konventionellen Neubau in Variante C, die bestehende Außenwand rückgebaut und mit einer tragenden Brettsperrholzwand mit außenseitiger Dämmung und Holzfassade neu aufgebaut.

Die CO₂-Emissionen für die Herstellung der Tragstruktur aus Brettsperrholz und der Holzfassade nehmen ähnliche Anteile in Höhe von jeweils fast 45% des gesamten GWPs ein. Die Gesamtemissionen des fossilen GWPs liegen dabei deutlich unter denen der Variante C.

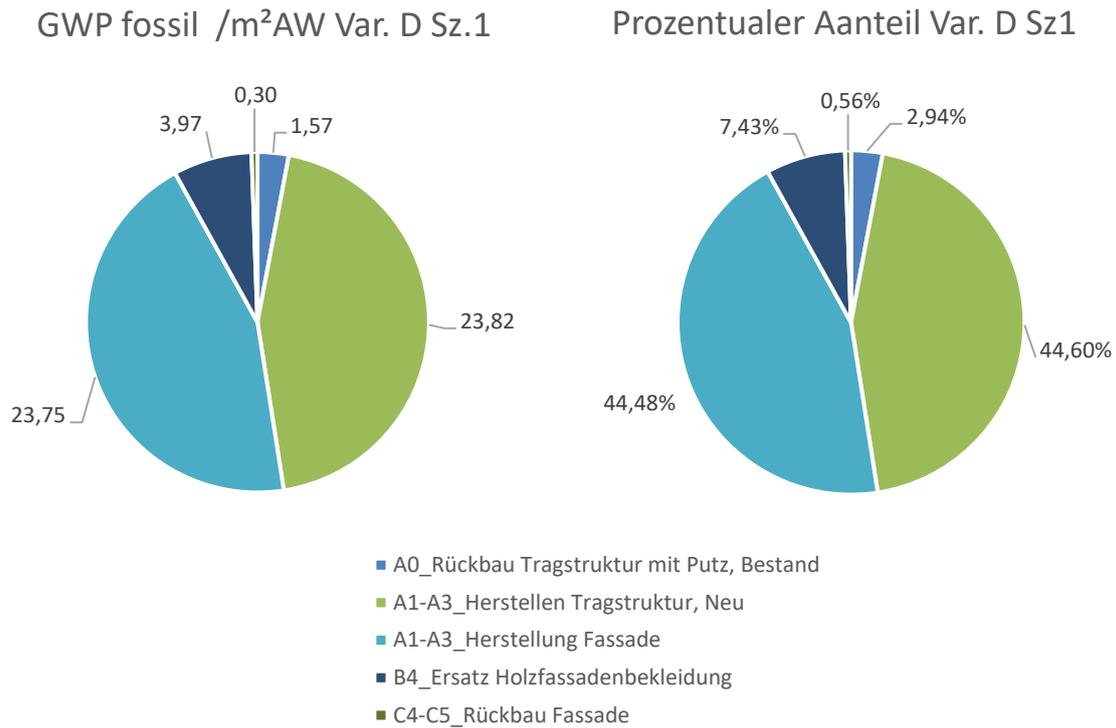


Abbildung 37: Menge des fossilen GWP/m²AW [kgCO₂-Äq] und Prozentualer Anteil des GWP-fossil der einzelnen Bauteilschichten am Gesamt GWP der Variante D – nachhaltiger Neubau im Szenario 1

3.2.8 CO₂-Bepreisung

Wie in Kapitel 2.2.9 beschrieben, sollen als weitere Komponente die Auswirkungen der zukünftigen CO₂-Bepreisung auf die Lebenszykluskosten untersucht werden. Hierfür wurde eine 3-stufige Preissteigerung angenommen. Den Ausgangspunkt bildet die nationale CO₂-Bepreisung in Höhe von 45€ pro Tonne CO₂.

Da diese CO₂-Bepreisung schon für alle in Deutschland in den Verkehr gebrachten fossilen Energieträger gilt, wird angenommen, dass auf das bestehende und in Kapitel 3.2.7 berechnete fossile GWP bereits ein Preis von 45€ entrichtet wurde. Dabei handelt es sich um eine vereinfachte Annahme, da bereits große Industrieanlagen nach dem Europäischen Emissionshandel zum Kauf der aktuell teureren Emissionszertifikate verpflichtet sind (vergleiche Kapitel 2.2.9). Da es jedoch schwer abschätzbar ist, welche Anlagen mit welchen Leistungsparametern in der Rohstoffherstellung eingesetzt werden, wird auf diese Differenzierung verzichtet. In drei Szenarien werden nun unterschiedliche Mehrkosten durch eine steigende CO₂-Bepreisung untersucht.

Im ersten Szenario handelt es sich um einen Mehrpreis von 20 € pro Tonne CO₂. Dies stellt die Anpassung auf den nationalen CO₂-Preis ab 2025 dar.

In einem zweiten Schritt wird die Steigerung von 175€ angenommen. Hierbei diente die Abschätzung der CO₂-Preisentwicklung bis 2030 in einem Spektrum von 210 € bis 405 € pro Tonne CO₂ als Richtwert.

Im dritten Schritt sollen die jüngsten Forschungen zum wahren CO₂-Preis berücksichtigt werden und es wird eine Preissteigerung von 815 €/toCO₂ festgesetzt.

CO₂-Preise fallen gemäß BEHG lediglich auf fossile Energieträger, also auf fossiles CO₂ in Form von CO₂-Äquivalenten an. Somit wurden das, in den jeweiligen Phasen berechnete, fossile GWP mit der jeweiligen CO₂-Preissteigerung verrechnet. Es wurde immer ein Mehrbepreisungsschritt auf alle Lebensphasen angewandt, in der Zukunft liegende Bepreisungen diskontiert und am Schluss aufsummiert.

Somit ergeben sich diskontierte Mehrpreise in drei Schritten für alle vier Varianten in den jeweils zwei Szenarien. Eine genau Berechnung ist in Anhang A7 einsehbar.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der einzelnen Varianten kurz vorgestellt.

3.2.8.1 Wandaufbau Variante A – konventionelle Sanierung

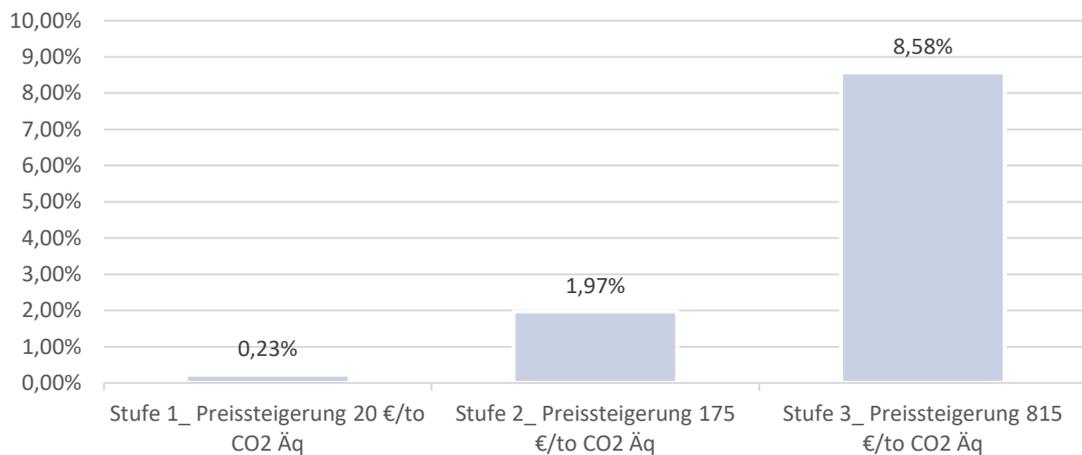


Abbildung 38: Anteil der Mehrkosten an den Gesamtkosten durch die schrittweise CO₂-Preissteigerung, Variante A – konventionelle Sanierung im Szenario 1

Wie in Abbildung 38 zu sehen ist, macht eine Mehrbepreisung von 20€, wie es laut aktuellen nationalen Emissionshandel geplant ist, unter 1% des Gesamtpreises der Baumaßnahme Außenwand aus. Auch bei dem bis 2030 vermuteten Preis für Europäische Emissionszertifikate von mindestens 210€ und damit einer Preissteigerung

Methoden

von 175€ machen diese Mehrkosten auch nur knapp 2% aus. Dies ist immer noch weniger, als bei der Kalkulation für Wagnis und Gewinn eingesetzt wird. Hier geht man von 3% bis 6% der Nettoangebotssumme aus. (SIRADOS Baudaten, 2021)

3.2.8.2 Wandaufbau Variante B – nachhaltige Sanierung

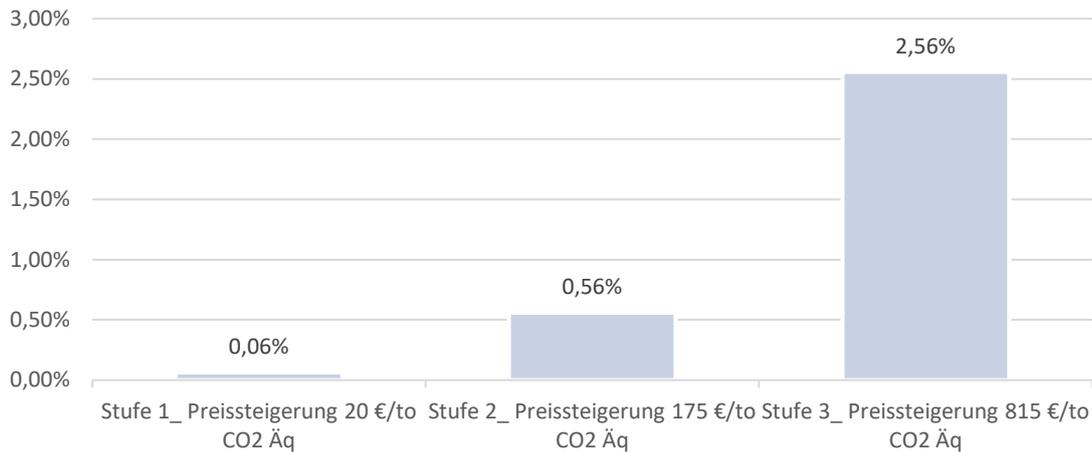


Abbildung 39: Anteil der Mehrkosten an den Gesamtkosten durch die schrittweise CO₂-Preissteigerung, Variante B – nachhaltige Sanierung im Szenario 1

Bei der nachhaltigen Sanierung wurde am wenigsten fossiles GWP über dem gesamten Lebenszyklus verursacht. Dies lässt sich auch in den Anteilen der CO₂-Mehrkosten erkennen, da diese sehr gering ausfallen. Auch bei einer Steigerung der CO₂-Preise um 815 €/to CO₂-Äq. machen diese Mehrkosten nur 2,5% der Gesamtkosten aus.

3.2.8.3 Wandaufbau Variante C – konventioneller Neubau

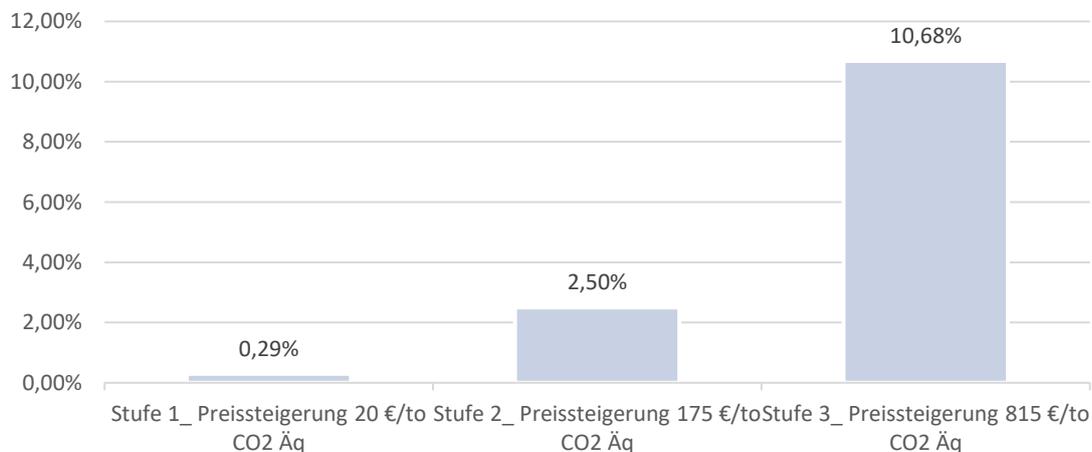


Abbildung 40: Anteil der Mehrkosten an den Gesamtkosten durch die schrittweise CO₂-Preissteigerung, Variante C – konventioneller Neubau im Szenario 1

Im Vergleich zur nachhaltigen Sanierung in Variante B stellt der konventionelle Neubau das Gegenteil dar. Die hohen CO₂-Emissionen über den Lebenszyklus lassen die höchsten Anteile der CO₂-Mehrkosten an den Gesamtkosten entstehen. Schon bei einer Preissteigerung von 175 €/to CO₂-Äq erreicht dieser einen Anteil von 2,5% der Gesamtkosten.

3.2.8.4 Wandaufbau Variante D – nachhaltiger Neubau

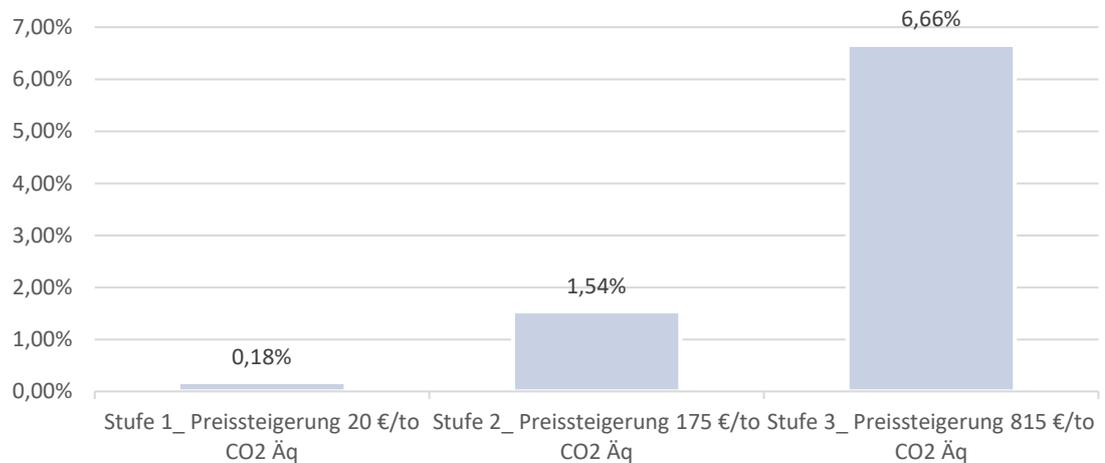


Abbildung 41: Anteil der Mehrkosten an den Gesamtkosten durch die schrittweise CO₂-Preissteigerung, Variante C – Nachhaltiger Neubau im Szenario 1

In Kapitel 3.2.6 wurde ersichtlich, dass die Lebenszykluskosten der beiden Neubauten im Szenario 1 in etwa gleich sind. Der Anteil der CO₂ Mehrkosten beträgt bei der Variante des nachhaltigen Neubaus jedoch nur etwa zwei Drittel verglichen mit der Variante C konventioneller Neubau.

4 Diskussion der Ergebnisse

Im Folgenden werden sowohl die Ergebnisse aus den obigen Berechnungen als auch die Informationen aus den Interviews und der Literaturrecherche diskutiert und eingeordnet. Es werden die Grenzen dieser Arbeit aufgezeigt und wo möglich, Ausblicke darüber hinaus gegeben.

4.1 Einordnung, Diskussion und Weiterführung der Ergebnisse aus der ökonomischen und ökologischen Lebenszyklusbetrachtung

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Analyse der Außenwand der Schlossbachschule Bonn in ihren vier Varianten zeigt auf, dass bei Erhalt der Tragstruktur die Sanierung wirtschaftlich ist.

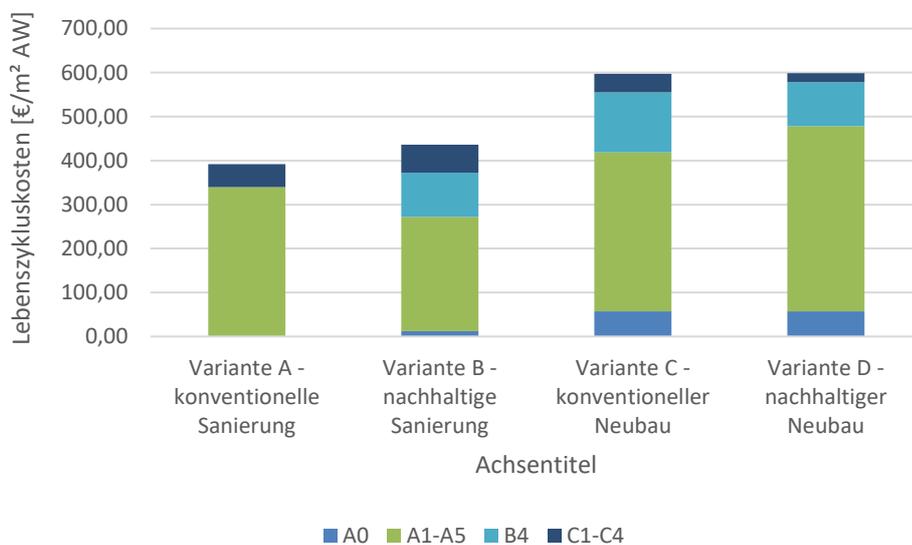


Abbildung 42: Lebenszykluskosten der verschiedenen Varianten im Szenario 1 (ohne Rückbau der Tragstruktur am Lebensende), eigene Darstellung

Aus Abbildung 42 wird ersichtlich, dass bei den beiden Sanierungsvarianten A und B die Herstellkosten der nachhaltigen Sanierung sogar unter denen der konventionellen Sanierung liegen. Dies widerspricht dem Vorurteil, dass nachhaltig Bauen immer noch teurer sei als konventionell bauen. Ausschlaggebend für die um etwa 10 % höheren

Lebenszykluskosten ist der Austausch der Holzfassade in der Phase B4. Hierbei wurde mit der Lebensdauer aus den BNB-Tabellen gerechnet, die für bewittertes unbehandeltes Nadelholz eine Lebensdauer von 30 Jahren vorgeben. Der Einsatz einer anderen Holzart, anstelle der Fichtenfassade, wie beispielsweise einer Lärchenschalung, hätte aufgrund der nur marginal höheren Dauerhaftigkeitswerte (ProHolz Austria, 2016, S. 8) vermutlich wenig Auswirkung auf die gesamte Lebensdauer der Fassadenbekleidung. Eine andere Option wäre hier auf ein anderes mineralisches Material, wie zum Beispiel Faserzementplatten oder andere dauerhafte Plattenwerkstoffe umzuschwenken. Außerdem sei angemerkt, dass diese Darstellung und Berechnung auch nur dann zielführend ist, wenn auch bei den Faserzementplatten die Nutzungsdauer von 50 Jahren voll ausgenutzt wird. Wie in Kapitel 2.2.8 beschrieben, kann ein Bauteil aber auch schon vor dieser Zeit obsolet werden.

Auch die CO₂-Bepreisung macht nur einen geringen Unterschied, wie der Abbildung 43 entnommen werden kann. Die Anpassung auf 65 € pro Tonne CO₂, die ab 2026 gelten soll, macht kaum einen Unterschied zu den Lebenszykluskosten ohne CO₂-Bepreisung. Auch bei einer Erhöhung auf den notwendigen und prognostizierten Preis von etwa 220 € pro Tonne CO₂ bleibt der Anteil der CO₂-Mehrpreisung bei unter 3%. Erst bei einer Bepreisung von etwa 860 € ist ein deutlicher Unterschied auszumachen. Der Einfluss der CO₂-Bepreisung ist dabei beim Vergleich der beiden Neubauvarianten am markantesten. Ohne CO₂-Mehrpreisung sind beide Varianten kostentechnisch fast gleichauf. Beim CO₂-intensiven konventionellen Neubau steigen mit der stufenweisen CO₂-Bepreisung die Kosten stärker an, als bei den weniger CO₂-intensiven Varianten an. Es verringern sich die Mehrkosten der nachhaltigen Variante bezogen auf die konventionelle Variante von 11% (ohne CO₂-Mehrpreisung) auf etwa 4% in der Stufe 3 (wahre CO₂-Bepreisung).

Diskussion der Ergebnisse

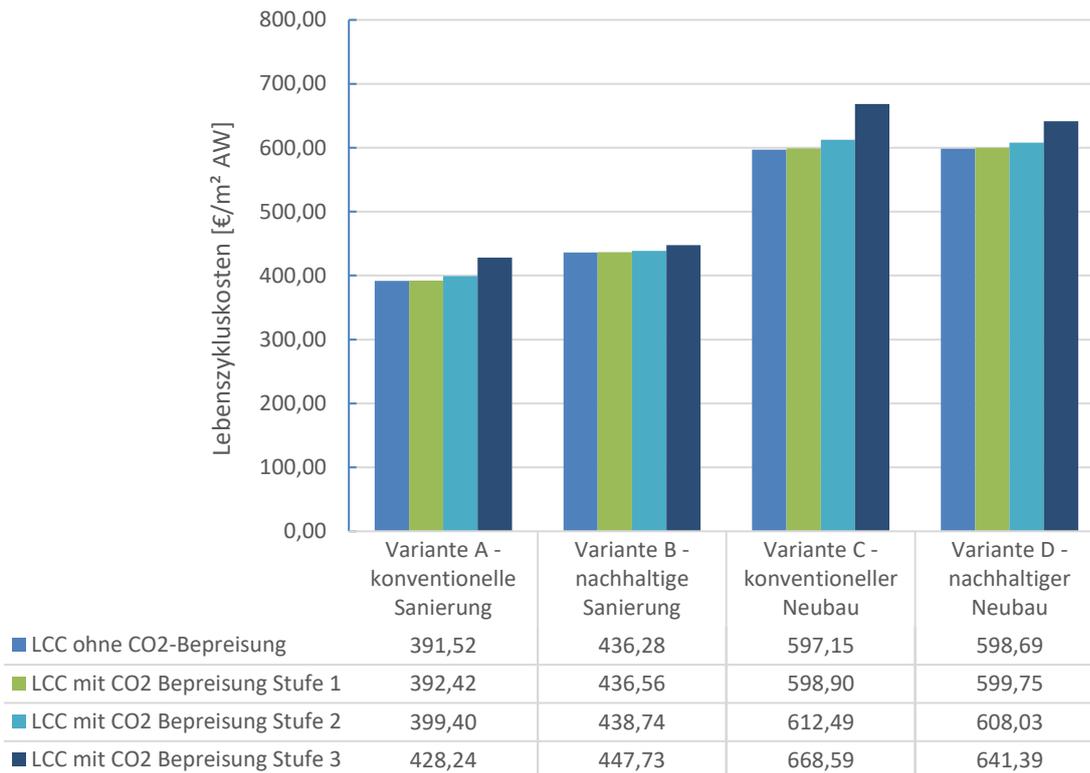


Abbildung 43: Darstellung der Lebenszykluskosten ohne und mit CO₂-Bepreisung (stufenweise), eigene Darstellung

Bauablauftechnisch hat dennoch die elementierte Holzfassade einen entscheidenden Vorteil: Durch das Vorfertigen und den seriellen Sanierungsansatz ist eine Ertüchtigung der Außenwände innerhalb der Ferienzeit machbar. (Auer & Nagler, 2017, 151 f.; Informationsverein Holz e.V, 2023) Diese Zeitersparnis und der damit verbundene Verzicht auf Interimsklassenräume kann in einem nächsten Schritt mit der Miete von Schulcontainern verglichen und gegengerechnet werden.

Die durchgeführte Betrachtung der Außenwände stellt jedoch nur einen kleinen Teil der notwendigen ganzheitlichen Analyse innerhalb eines integralen Planungsprozesses dar (vergleiche Kapitel 2.2). Außerdem wurde in der Lebenszyklusanalyse der Außenwand keine Maßnahmen an der Tragstruktur der Außenwand angenommen. Der kostentechnische Vorteil der Sanierungen zu den Neubauten würde sich demnach verringern, wenn entweder Mängel an der Tragstruktur zu beseitigen sind oder größere Ausbaumaßnahmen im Zuge der Grundrissumgestaltung notwendig sind. Grundsätzlich ist jedoch anzunehmen, dass „Gebäude theoretisch Hunderte von Jahren überleben können, wenn sie gut gewartet und regelmäßig in Stand gesetzt werden. Die Dauerhaftigkeit der [massiven] Tragwerke ist kaum beschränkt“ (König et al., S. 35).

In den obigen Berechnungen wurde rein die thermische oder stoffliche Verwertung am Ende des Lebenszyklus betrachtet und als Entsorgungskosten angesetzt. Zusätzlich gibt es wie in Kapitel 2.2 beschrieben, für die Ökobilanzierung das Modul D zur Recyclingfähigkeit außerhalb des Lebenszyklus. Dabei handelt es sich um vage Annahmen, da „Bauwerke [...]in der Regel eine sehr lange Lebensdauer auf[weisen], so dass die Schwierigkeit darin besteht heute zu prognostizieren, was übermorgen Stand der Technik beim Recyceln von Baumaterialien ist.“ (Vogdt et al., 2019, S. 3) Grundsätzlich ist in der Bauteilplanung auf eine einfache Demontierbarkeit der Fügungen zu achten, um eine spätere Rückbaubarkeit und sortenreine Trennung der Materialien zu gewährleisten. Für einige Materialien gibt es teilweise bereits funktionierende Aufbereitungsmöglichkeiten. (Vogdt et al., 2019, S. 56–91) Darüber hinaus kann die Wiederverwendung von Bauteilen, vor allem im kommunalen Zusammenhang, eine große Möglichkeit für Kommunen darstellen, nachhaltiger zu bauen. So wird die öffentliche Hand einerseits Ihrer Vorbildfunktion im Bereich Ressourcenschonung gerecht und andererseits haben Kommunen die Möglichkeit sogenannte „Bauteilbörsen“ aufzubauen und zu betreiben. (Dechantsreiter et al., 2015, S. 187–191)

Ein weiterer stark beeinflussender Faktor, der bei der obigen Lebenszyklusbetrachtung wenig Beachtung fand, ist die zukünftige Energiemixentwicklung. Dabei nimmt der World Energy Outlook den Höhepunkt der weltweiten Nachfrage nach fossilen Brennstoffe bis zum Jahr 2030 an. (International Energy Agency, 2023) Laut Statistischem Bundesamt sind in Deutschland bereits 52% der Energieträger erneuerbar und über 63% des Stroms wird aus regenerativen Energien bezogen (Statistisches Bundesamt). Sollte sich dieser Trend fortsetzen, ist anzunehmen, dass die in Deutschland produzierten Baustoffe ebenfalls immer weniger CO₂-intensiv werden. Somit stellt sich die Frage, ob der CO₂-Preis zukünftig noch ein ausreichendes Regulatorium darstellt. Die Einführung anderer Internalisierungsmaßnahmen zu Ausgleich des erhöhten Ressourcenverbrauch können laut Auffassung der Autorin eine Möglichkeit darstellen, die Wende hin zu einer ressourceneffizienten Bauwirtschaft zu vollziehen. Als Beispiel kann hier die Umweltwirkung „Abiotischer Ressourcenverbrauch“ angeführt werden, die eben diesen Abbau an nichterneuerbaren und fossilen Ressourcen darstellt (DGNB GmbH, S. 88).

Die in den Kapiteln 2.2.3 und 2.2.5 beschriebenen Berechnungsschemata sind zu kritisieren, da der Rückbau – eigentlich in KG 210 eingeordnet (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2018) – nicht beachtet wird. Dies ist aus ökonomischer und

ökologischer Perspektive nicht ganzheitlich gedacht. Es verändert zwar das Ergebnis nicht grundsätzlich, jedoch verfälscht es die Betrachtung (Abbildung 42). Dies gilt vor allem, wenn sowohl die Ökobilanz als auch die Lebenszykluskostenrechnung als Entscheidungsgrundlage für verschiedene Varianten dienen soll.

Bezüglich der Kostenwerte des BKI und der STLB-Datenbank ist hinzuzufügen, dass die Auswahl an nachhaltigen und innovativen Materialien sehr gering ist. So sind beispielsweise keine Bauteile mit Materialien wie Stroh oder Hanf zu finden. (BKI Baukosteninformationszentrum, 2024a, 2024b, 2024c; GAEB & Hauptausschuss im Deutschen Vergabe- und Vertragsausschuss für Bauleistungen (DVA))

4.2 Architektonische und Pädagogische Aspekte des Schulbaus

Die rein bautechnischen Sanierungsmaßnahmen reichen nicht aus, um den Anforderungen an den zukunftsfähigen Schulbau zu genügen. Pädagogische Konzepte und neue Lernformen sollen weitestgehend in das Sanierungskonzept mit eingearbeitet werden. Dies kann, wie in Kapitel 2.1 aufgezeigt durch bauliche Maßnahmen und/oder durch innenarchitektonische Elemente geschehen. Dass dies gelingen kann, zeigen Beispiele von Hubeli et al (2017) auf, wobei es sich hauptsächlich um nichtdeutsche Schulgebäude handelt. Die Analyse von Auer und Nagler (2017) zeigt ein etwas anderes Bild auf: die untersuchten Schulen wurden zwar oft generalsaniert und teilweise auch bis auf das Tragskelett rückgebaut, dennoch haben nur wenige Ansätze des neuen pädagogischen Raumkonzeptes Einzug erhalten. (Auer & Nagler, 2017, S. 91–175)

Auch wenn Schulgebäude rein baulich hohe Lebensdauern erreichen, sind die Bedarfe und Strukturen nach etwa 15 bis 20 Jahren meist überholt. So wird beispielsweise die weitere Digitalisierung auch in den Schulen mehr und mehr Einzug erhalten und daraufhin sind auch die räumlichen Voraussetzungen anzupassen. (Montag Stiftung Urbane Räume et al., 2013, S. 12) Um auch diesen zukünftigen Veränderungen und Anpassungen gerecht zu werden, sollten Schulgebäude dennoch möglichst flexibel gestaltet sein und auch kurzfristig flexibel nutzbare und kombinierbare Räume ermöglichen. Die Funktionalität und Flexibilität sollen dabei nicht zu einer kalten und unpersönlichen Atmosphäre führen. Unter dem Gesichtspunkt, Schule als Lebensort, ist die ästhetische Qualität, die auch Geborgenheit und Wärme vermittelt, umso wichtiger. (Montag Stiftung Urbane Räume et al., 2013, S. 17–18)

Ein weiterer Aspekt auch im Zusammenhang mit Ästhetik ist die Werthaltigkeit und Akzeptanz des Gebäudes bei Schüler:innen und Lehrer:innen. Dabei geht es auch darum, das Maß der Beschädigungsmöglichkeiten zu beschränken. „Das Maß der Beschädigung ist dabei umso höher, je geringer ‚die Varietät der architektonischen Gestaltung‘ (Vgl. Klockhaus/habermann-Morbey, 1984, S. 47 ff.) ist“ (Luley, 2000).

Wichtig ist, dass von Beginn, also ab der „Phase 0“ über die Bauausführung bis hin zur Inbetriebnahme ein fixes Konsortium aus Fachplaner:innen, Kommunalen Vertreter:innen, Schulleitung, Lehrer:innen, Eltern und Schüler:innen in den Prozess eingegliedert ist. Die Teilhabe stärkt einerseits die Identifikation mit dem Gebäude und richtet es andererseits besser auf die Bedarfe der Nutzenden aus. (Montag Stiftung Urbane Räume et al., 2013, 45 ff.)

Bei den Sanierungen von Schulgebäuden kann außerdem die Flächeneffizienz ein weiterer Schritt hin zu mehr Nachhaltigkeit sein. Dies würde im Rahmen eines neugedachten Nutzungskonzepts bedeuten, dass Schulgebäude auch außerhalb des eigentlichen Schulbetriebs für andere gemeinwohlfördernde Zwecke geöffnet werden können. Dies hätte nicht nur die effizientere Auslastung der Flächen zur Folge, sondern würde auch die Gemeinschaft in der Umgebung fördern. (Walden & Borrelbach, 2002, S. 92–94) Hierbei steigt die Relevanz mit dem demografischen Wandel weiter an, da zukünftig möglicherweise Schulgebäude ganz oder teilweise obsolet werden können. (Dorsch & Jung, 2012, S. 38)

Alle diese aufgeführten Punkte tragen der von Dorsch & Jung (2012) beschriebenen Werthaltigkeit von (Schul-)Gebäuden bei. (Dorsch & Jung, 2012, S. 15)

4.3 Diskussion und Lösungsansätze für monetäre und nicht monetäre Herausforderungen in Kommunen

Alle oben genannten Aspekte zur nachhaltigen oder konventionellen Sanierung, zu reformierten pädagogischen Konzepten und inklusiven Grundrissgestaltungen sind jedoch hinfällig, wenn die Kommunen nicht die notwendigen finanziellen Mittel aufbringen können, überhaupt mit einer Sanierung zu starten. Aus bautechnischer Sicht wurde nun gezeigt, dass nachhaltig Sanieren und Sanieren überhaupt (unter bestimmten Rahmenbedingungen) nicht unbedingt teurer sein muss. Auch andere

Diskussion der Ergebnisse

Studien zeigen eine ähnliche Tendenz auf. (Eichholtz et al.) Diese Tatsachen ändern nichts daran, dass, wie in der Einleitung beschrieben, die Kommunen vor einem immensen Investitionsstau stehen. Und wie aus dem Interview mit der Bürgermeisterin [Expertin 1] und der Literatur (Raffer & Scheller, 2024; Scheller et al., 2021) entnommen werden kann, sind vor allem ländlichere Kommunen am stärksten betroffen. Zu den in Kapitel 1 beschriebenen strukturellen und finanziellen Hemmnissen kommen allgemein stark gestiegene Baupreise hinzu. Dazu auch der Kämmer der Stadt Lünen im Kommunalpanel 2024:

„Wir haben in Lünen bei der Umsetzung von Baumaßnahmen vor allem zur Kenntnis zu nehmen, dass Submissionsergebnisse deutlich von den vorgegebenen Kostenrahmen nach oben abweichen“ (Raffer & Scheller, 2024, S. 23)

Die Bandbreite und Standardabweichung der Baupreise wurde schon weiter oben thematisiert, hierfür bräuchte es eine speziell auf öffentliche Bauvorhaben zugeschnittene Baukostendatenbank mit verlässlichen Kostenwerten. Diese wird zum Teil durch den Anbieter Plakoda abgedeckt, der zukünftig auch eine Anwendung zu Lebenszykluskosten anbieten wird. (Informationsstelle Wirtschaftliches Bauen Baden-Württemberg, 2024) Jedoch bot Plakoda der Autorin im Rahmen Ihrer Masterarbeit keinen Zugang an.

Als Lösung für die finanziellen Probleme der Kommunen werden seit einigen Jahrzehnten PPPs, also Private-Public-Partnerships (auch Öffentlich-Private Partnerschaft genannt), angeführt. Hierbei gibt die Stadt oder Gemeinde die Planungs-, Bau- oder Betriebsleistungen an ein Unternehmen ab. Das einbezogene Unternehmen handelt primär wirtschaftlich und rein nach HOAI, was von Vorteil sein kann (Dorsch & Jung, 2012, S. 132–133), aber auch aus mehrererlei Hinsicht kritisch zu sehen ist. Denn dabei wird die Kontrolle und Gestaltung einer grundlegenden öffentlichen Infrastruktur an ein wirtschaftlich orientiertes Unternehmen abgegeben und auch der Wissensabfluss innerhalb der kommunalen Bauverwaltung ist nicht zu vernachlässigen. (Scheller et al., 2021)

Somit stellt sich die Frage, ob dies ein wirkliches Instrument sein kann, um den aktuellen Herausforderungen auf breiter Basis zu begegnen, oder ob es bei einer Einzelfalllösung bleiben wird. Dennoch zeigen einige Beispiele unter anderem aus Bayern, dass Projekte dieser Art im Schulbau durchaus erfolgreich sein können. (Gesprächsrunde PPP, 2016; Rauschenbach et al.)

5 Fazit

Die Arbeit hat gezeigt, dass aus bautechnischen Aspekten die nachhaltige Sanierung bei lebenszyklusorientierter Ausführung und auch der ökologische Neubau mit konventionellen Bauweisen mithalten können. Elementierte und einfach rückbaubare Konstruktionen aus ökologischen Materialien weisen sowohl in der Herstellung als auch beim Rückbau kostentechnische Vorteile auf. Die größte Herausforderung liegt in der Gestaltung der bewitterten Bauteile, da hier die Lebensdauern von nachhaltigen Baustoffen teilweise unter denen der mineralischen Baustoffe liegt.

Der Aspekt der Umsetzbarkeit bleibt aufgrund der finanziellen und strukturellen Herausforderungen weiterhin ungelöst. Wobei nicht nur der nachhaltige Schulbau nicht umgesetzt wird, sondern allgemein die Sanierungs- und Modernisierungsquoten jeglicher Art große Defizite aufweisen. Dennoch ist es wichtig die gängigen Auffassungen zu den finanziellen Auswirkungen des (nachhaltigen) Bauen und Sanierens grundlegend in den kommunalen Verwaltungen zu ändern. Ganzheitlich und integral geplante Schulsanierungen zeigen die Umsetzbarkeit der neuen pädagogischen Ansprüche auf. Denn es ist möglich, aus der Ressource „Schulgebäude“ auch durch minimale Eingriffe und Einbindung der Schulgemeinschaft zukunftsfähige Orte des Lernens zu machen.

Literaturverzeichnis

- Auer, T. & Nagler, F. (2017). Edition Detail: Bd. 2. Zukunftsfähiger Schulbau: 12 Schulen im Vergleich (S. Djahanschah, Hg.). DETAIL - Business Information GmbH.
- Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern GmbH.
Baupreisindex. <https://bki.de/baupreisindex>
- Berechnungshilfe für die Ermittlung der Lebenszykluskosten (LCC)* (Version 2017) [Excel]. Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen. <https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/bewertungssystem/unterrichtsgebäude/steckbriefe-bnb-uk-2017/>
- Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) Unterrichtsgebäude Komplettmodernisierung: Ökonomische Qualität; Lebenszykluskosten; Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus*. https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/BNB_Steckbriefe_Unterricht/v_UK2017/BNB_UK2017_211_aktualisiert.pdf
- Beys Architekten GmbH. *Sanierung, Umbau und Erweiterung Grundschule 'Schlossbachschule', Bonn*. <https://www.beys-architekten.de/print/pdf/node/75>
- BKI Baukosteninformationszentrum (Hrsg.). (2024a). *BKI Baukosten 2024 Altbau: Statistische Kostenkennwerte für Positionen*.
- BKI Baukosteninformationszentrum (Hrsg.). (2024b). *BKI Baukosten 2024 Neubau: Statistische Kostenkennwerte für Bauelemente*.
- BKI Baukosteninformationszentrum (Hrsg.). (2024c). *BKI Baukosten 2024 Neubau: Statistische Kostenwerte für Positionen*.
- Böllmann, R., Hofmann, P. & Rohrmüller, J. (2011). *Die Kommune als Bauherrin: Praxistipps für kommunale Mandatsträger in Entscheidungsgremien, an der Spitze der Verwaltung (insbesondere für Bürgermeister und Landräte) sowie für Mitarbeiter der Bauämter* (Geschäftsbericht). Bayerischer Kommunalen Prüfungsverband.
https://www.bkpv.de/fileadmin/redaktion/Geschaeftsberichte/2011/Die_Kommune_als_Bauherrin.pdf
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). *Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen*. <https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de>
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). (2017a). *Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)*.
https://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/Nutzungsdauer_Bauteile/BNB_Nutzungsdauern_von_Bauteilen_2017-02-24.pdf

- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). (2017b, 24. Februar). *Erläuterungen zur BBSR-Tabelle "Nutzungsdauern von Bauteilen zur Lebenszyklusanalyse nach BNB"*.
<https://www.nachhaltigesbauen.de/austausch/nutzungsdauern-von-bauteilen/>
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung & Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung. (2010). *Lebens- und Nutzungsdauer von Bauteilen: Endbericht* (Forschungsbericht Zukunft Bau).
https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/zb/Auftragsforschung/2NachhaltigesBauenBauqualitaet/2009/LebensNutzungsdauer/Endbericht.pdf;jsessionid=F91A03A182906B44B08120D147D56D08.live11312?__blob=publicationFile&v=1
- Gesetz über einen nationalen Zertifikatehandel für Brennstoffemissionen (Brennstoffemissionshandelsgesetz - BEHG) Dez. 2019). <https://www.gesetze-im-internet.de/behg/BJNR272800019.html>
- Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (Hrsg.). (Januar 2019). *Leitfaden Nachhaltiges Bauen: Zukunftsfähiges Planen, Bauen und Betreiben von Gebäuden*.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. *Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) Unterrichtsgebäude Komplettmodernisierung: Bilanzierungsregeln für die Erstellung von Ökobilanzen*. https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/BNB_Steckbriefe_Unterricht/v_UK2017/BNB_UK_2017_LCA-Bilanzierungsregeln.pdf
- Bundesregierung. (2024, 1. Januar). *CO2-Preis steigt auf 45 Euro pro Tonne*. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/co2-preis-kohle-abfallbrennstoffe-2061622>
- DBD-Center. *DBD-BauPreise*. <https://www.dbd-center.de/baupreise>
- Dechantsreiter, U., Horst, P., Mettke, A., Asmus, S., Schmidt, S., Knappe, F., Reinhardt, J., Theis, S. & Lau, J. J. (2015). *Instrumente zur Wiederverwendung von Bauteilen und hochwertiger Verwertung von Baustoffen. Texte: Bd. 93*. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_93_2015_wiederverwertung_von_bauteilen_0.pdf
- Deutsche Emissionshandelsstelle. (Mai/2024). *Das nationale Emissionshandelssystem*. https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/factsheets/factsheet_nehs.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- Deutsche Emissionshandelsstelle. (2024, 17. Oktober). *EU-Emissionshandel verstehen*. https://www.dehst.de/DE/Themen/EU-ETS-1/EU-ETS-1-Informationen/EU-ETS-1-verstehen/eu-ets-1-verstehen_artikel.html
- Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauweise (Oktober 2020). https://www.stmb.bayern.de/assets/stmi/buw/baurechtundtechnik/24_musterholzbaurichtlinie.pdf

- DGNB GmbH. *ECO1.1: Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus* (DGNB System – Kriterienkatalog Gebäude Sanierung). https://static.dgnb.de/fileadmin/dgnb-system/de/gebaeude/sanierung/kriterien/DGNB-Kriterium-Gebaeude-Sanierung_ECO1_1_Gebaeudebezogene_Kosten_im_Lebenszyklus.pdf?m=1626367246&
- DGNB GmbH. *ENV1.1: Ökobilanz des Gebäudes* (DGNB System – Kriterienkatalog Gebäude Sanierung). https://www.dgnb.de/filestorages/Downloads_unprotected/dokumente/kriterien/dgnb-kriterium-env1-1-gebaeude-sanierung-version-2021.pdf
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (Dezember 2018). *Kosten im Bauwesen* (DIN 276). <https://www-nautos-de.eaccess.tum.edu/WVD/search>
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (Februar 2021a). *Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen: Deutsche Fassung EN ISO 14040:2006 + A1:2020* (DIN EN ISO 14040). <https://www-nautos-de.eaccess.tum.edu/WVD/search>
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (Dezember 2021b). *Nachhaltigkeit von Bauwerken: Allgemeine Rahmenbedingungen zur Bewertung von Gebäuden und Ingenieurbauwerken* (DIN EN 15643). <https://www-nautos-de.eaccess.tum.edu/WVD/search>
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (März 2022). *Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte* (DIN EN 15804). <https://www-nautos-de.eaccess.tum.edu/WVD/search>
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (Mai 2024). *Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der Umweltsleistung von Gebäuden - Methodik* (Entwurf DIN EN 15978). <https://www-nautos-de.eaccess.tum.edu/WVD/search>
- Dodd, N., Donatello, S. & Cordella, M. (Januar 2021a). *Level(s) – Ein gemeinsamer EU-Rahmen von Kernindikatoren für die Nachhaltigkeit von Büro- und Wohngebäuden: Benutzerhandbuch 1: Einführung in den gemeinsamen Level(s)-Rahmen*. Version 1.1 (JRC Technical Reports). Europäische Kommission. <https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2023-02/UM1.ENV-2020-00021-02-00-DE-TRA-00.pdf>
- Dodd, N., Donatello, S. & Cordella, M. (Januar 2021b). *Level(s) – Ein gemeinsamer EU-Rahmen von Kernindikatoren für die Nachhaltigkeit von Büro- und Wohngebäuden: Benutzerhandbuch 2: Aufbau eines Projekts unter Verwendung des gemeinsamen Level(s)-Rahmens*. Version 1.1 der Veröffentlichung (JRC Technical Reports). Europäische Kommission. <https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2021-11/ENV-2020-00021-02-01-DE-TRA-00.pdf>
- Dodd, N., Donatello, S. & Cordella, M. (Januar 2021c). *Level(s)-Indikator 6.1: Lebenszykluskosten: Benutzerhandbuch: Einführende Informationen, Anweisungen und Anleitungen*. Veröffentlichungsversion 1.1 (JRC Technical

- Reports). Europäische Kommission. <https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2023-02/6.1.ENV-2020-00031-01-03-DE-TRA-00.pdf>
- Donatello, S., Dodd, N. & Cordella, M. *Level(s)-Indikator 2.2: Bau- und Abbruchabfälle und -materialien: Benutzerhandbuch: Einführende Informationen, Anweisungen und Anleitungen*. Veröffentlichungsversion 1.1 (JRC Technical Reports). Europäische Kommission. <https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2023-02/2.2.ENV-2020-00027-01-01-DE-TRA-00.pdf>
- Dorsch, L. & Jung, U. (Hrsg.). (2012). *Bau, Immobilien, Vergabe. Kursbuch von der Energieeffizienz zur Nachhaltigkeit: Eine Orientierung für professionelle Bauherren, Architekten, Ingenieure und Energieberater auf dem Weg zu nachhaltigen Gebäuden - Grundlagen für die Entscheidungsfindung, das Planen und Bauen sowie das Betreiben* (1. Aufl.). Bundesanzeiger-Verl.; Beuth.
- Eichholtz, P., Kok, N. & Quigley, J. Doing Well by Doing Good? Green Office Buildings. *The American Economic Review*, 2010(Vol. 100, No. 10), pp. 2492-2509. <https://www.jstor.org/stable/41038771>
- Feess, E. & Seeliger, A. (2021). *Umweltökonomie und Umweltpolitik* (5., vollständig überarbeitete Auflage). Verlag Franz Vahlen.
- Feist, M. (2019). *Klimaschutz: Warum der Emissionshandel besser als eine CO2-Steuer ist*. INSM Initiative Neue Soziale Marktwirtschaft GmbH. <https://insm.de/aktuelles/oekonomenblog/klimaschutz-warum-der-emissionshandel-besser-als-eine-co2-steuer-ist>
- Figl, H., Brockmann, A., Kerz, N., Kusche, O. & Rössig, S. (2019). *ÖKOBAUDAT: Grundlage für die Gebäudeökobilanzierung* (2., überarbeitete Auflage). *Schriftenreihe Zukunft Bauen: Forschung für die Praxis: Band 09*. Bundesinstitut für Bau- Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung.
- Gemeinsamer Ausschuss Elektronik im Bauwesen & Hauptausschuss im Deutschen Vergabe- und Vertragsausschuss für Bauleistungen (DVA) (Hrsg.). *STLB Bau: Dynamische Baudaten*. <https://www.stlb-bau-online.de/>
- Gesprächsrunde PPP. (Oktober 2016). *PPP Public Private Partnership zur Realisierung öffentlicher Baumaßnahmen in Bayern: Teil 1 Grundlagen*. https://www.stmb.bayern.de/assets/stmi/buw/bauthemen/ia4_ppp_leitfaden_teil1.pdf
- Gläser, J. & Laudel, G. (2010). *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse*. Lehrbuch (4. Auflage). Springer VS.
- Hebel, J. P. (2021). *Honorarordnung für Architekten und Ingenieure - HOAI 2021: Textausgabe mit Einführung und Anmerkungen zu den wichtigsten Neuerungen* [Ebook]. Reguvis Fachmedien. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/munchentech/detail.action?docID=6646212>

- Hubeli, E., Pampe, B., Paßlick, U., Reich, K., Schneider, J. & Seydel, O. (2017). *Schulen planen und bauen 2.0: Grundlagen, Prozesse, Projekte* (Aktualisierte und ergänzte Neuausgabe von "Schulen planen und bauen. Grundlagen und Prozesse" (2. Auflage, 2012). Jovis.
- Informationsstelle Wirtschaftliches Bauen Baden-Württemberg. (2024). *Plakoda*. <https://plakoda.de/>
- Informationsverein Holz e.V (Hrsg.). (2023). Leitfaden Serielles Sanieren: Modernisierung mit vorgefertigten Elementen in Holztafelbauweise [Sonderheft]. *spezial*. https://informationsdienst-holz.de/fileadmin/Publikationen/3_Spezial/IDH-Seriell-Sanieren-2023-06_print150dpi_230912.pdf
- Interessenverein für Wasser und Abwasser e. V. *Beispielrechnungen für den dynamischen Barwert*. <https://www.iwa-ev.de/z43/wp-content/uploads/2015/02/Barwert-Beispiele.pdf>
- International Energy Agency. (2023). *World Energy Outlook 2023: Zusammenfassung*. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023/executive-summary?language=de>
- Kaiser, R. (2021). *Qualitative Experteninterviews: Konzeptionelle Grundlagen und praktische Durchführung* (2., aktualisierte Auflage). *Elemente der Politik* [EBook]. Springer. <https://link.springer-com.eaccess.tum.edu/book/10.1007/978-3-658-30255-9>
- König, H., Kohler, N., Kreißig, J. & Lützkendorf, T. *Lebenszyklusanalyse in der Gebäudeplanung: Grundlagen, Berechnungen, Planungswerkzeuge*. *Detail Green Books*.
- Landesbank Baden-Württemberg. (2024, 17. Oktober). *EZB-Zinsentscheid 2024: aktueller Leitzins und Prognosen*. https://www.lbbw.de/artikelseite/maerkte-verstehen/ezb-zinsentscheid-leitzins-prognosen_ait4bfmrfe_d.html
- Lehrstuhl für Gebäudetechnologie und klimagerechtes Bauen & Lehrstuhl für Entwerfen und Konstruieren. (November 2017). *Vergleichende Evaluierung und Bewertung des aktuellen Stands des Schulbaus und zukunftsfähige Schulen im Hinblick auf ressourcenschonende, kostengünstige, konzeptionelle Architektur und Kriterien der Aufenthaltsqualität*. Abschlussbericht des Forschungsprojektes.
- Luley, M. (2000). *Eine kleine Geschichte des deutschen Schulbaus: Vom späten 18. Jahrhundert bis zur Gegenwart. Erziehungskonzeptionen und Praxis: Band 47*. Lang.
- Masson, S. *Level(s) Carbon or Life Cycle Assessment*. OneClick LCA. <https://oneclicklca.zendesk.com/hc/en-us/articles/360021420079-Level-s-Carbon-or-Life-Cycle-Assessment>
- Richtlinie über bauaufsichtliche Anforderungen an Schulen (2020 & i.d.F.v. 9.12.2024). https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_bes_text?anw_nr=1&bes_id=44088&aufgehoben=N&keyword=Schulbaurichtlinie#NORMFUSS

Literaturverzeichnis

- Schulgesetz für das Land Nordrhein-Westfalen, Recht.NRW.de (2005 & i.d.F.v. 09.03.2022).
https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_text_anzeigen?v_id=10000000000000000524
- Bauordnung für das Land Nordrhein-Westfalen (2018 & i.d.F.v. 01.01.2024).
https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_text_anzeigen?v_id=74820170630142752068
- Minke, G. (2017). *Handbuch Leimbau: Baustoffkunde, Techniken, Lehmarchitektur* (9. Auflage). Ökobuch-Verl.
- moneyland.ch AG. *Realzins*. <https://www.moneyland.ch/de/realzins-definition>
- Montag Stiftung Urbane Räume, Montag Stiftung Jugend und Gesellschaft, Bund Deutscher Architekten & Verband Bildung und Erziehung (Hrsg.). (2013). *Leitlinien für leistungsfähige Schulbauten in Deutschland*.
- Nusser, B., Felhofer, M., Fühapper, C., Koch, C., Lux, C., Schumacher, M., Tieben, J. & Truskaller, M. (Juli 2024). *Neue Erkenntnisse zu Holzfassaden – Hintergründe: Feuchteresistenz – Schallschutz – Sommerlicher Wärmeschutz*. Holzforschung Austria.
https://www.dataholz.eu/fileadmin/dataholz/media/technische_Brosch%C3%B4Cren__Literatur/HFA-Merkblatt-Holzfassaden-Hintergruende-2024.pdf
- One Click LCA [Computer software]*. One Click LCA Ltd. <https://oneclicklca.com/>
- Pietzcker, R., Feuerhahn, J., Haywood, L., Knopf, B., Leukhardt, F., Luderer, G., Osorio, S., Pahle, M., Rodrigues, R. & Edenhofer, O. *Notwendige CO2-Preise zum Erreichen des europäischen Klimaziels 2030* (Ariadne-Hintergrund). Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK). https://www.kopernikus-projekte.de/lw_resource/datapool/systemfiles/cbox/1828/live/lw_datei/2021_11_ariadne_hintergrund_co2-preisentwicklung_november21.pdf
- Presse- und Informationsamt der Bundesregierung. (2024, 11. November). *Inflation zieht wieder an*. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/faq-inflation-2062284>
- ProHolz Austria (Hrsg.). (2016). Holzfassaden [Sonderheft]. *Zuschnitt*(63).
<https://www.proholz.at/fileadmin/flippingbooks/zuschnitt63/files/assets/common/downloads/publication.pdf>
- Raffer, C. & Scheller, H. (Mai 2024). *KfW-Kommunalpanel 2024* (KfW Research). Deutsches Institut für Urbanistik.
- Rauschenbach, J., Giesen, D., Ueberall, M. & Nievenheim, H. von. Leitfaden II: Kriterienkatalog PPP-Eignungstest Schulen.
https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/ao/WohnenBauen/MoeglichkeitenGrenzenPppModelle/Downloads/Leitfaden2.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von).
- Ritschel, S. (11. August 2024). Schulen in Deutschland sind marode. *Augsburger Allgemeine*. <https://www.augsburger-allgemeine.de/bayern/schulen-in-deutschland-sind-marode-102946047>

- Ritter, F. (2011). *Lebensdauer von Bauteilen und Bauelementen: Modellierung und praxisnahe Prognose*. Zugl.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2011. *Dissertation / Institut für Massivbau, Technische Universität Darmstadt: Bd. 22*. Inst. für Massivbau. <https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/2649/1/RitterLebensdauer.pdf>
- Rödl & Partner. (2020). *CO2 Emissionshandel: Vergleich europäischer und nationaler Regelungen*. <https://www.roedl.de/themen/stadtwerke-kompass/14-2020/co2-emissionshandel-vergleich-regelungen>
- Scharte, K. (2016). *Potenziale der energetischen Sanierung von Schulgebäuden*. Dissertation. *Energie und Nachhaltigkeit: Band 25* [eBook]. <https://lit-verlag.de/isbn/978-3-643-13486-8/>
- Scheller, H., Rietzler, K., Raffer, C. & Kühl, C. (2021). *Baustelle zukunftsfähige Infrastruktur: Ansätze zum Abbau nichtmonetärer Investitionshemmnisse bei öffentlichen Infrastrukturvorhaben*. *WISO Diskurs: 2021*, 12. Friedrich-Ebert-Stiftung Abteilung Wirtschafts- und Sozialpolitik. <http://library.fes.de/pdf-files/wiso/17978.pdf>
- Schrems, I., Fiedler, S., Zerzawy, F., Hecker, J. & Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft e.V. (Juli/2023). *Einführung eines Emissionshandelssystems für Gebäude, Straßenverkehr und zusätzliche Sektoren in der EU*.
- SIRADOS Baudaten. (2021). *Das Kalkulationsschema: transparente & nachvollziehbare Angebote im Baugewerbe*. <https://www.sirados.de/blog/kalkulationsschema>
- Statistisches Bundesamt. (https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Energie/Erzeugung/_inhalt.html). *Energieerzeugung*.
- Steven, M. (2012). *BWL für Ingenieure* (4., korrig. u. aktualis. Aufl.). *Technik 10-2012*. Oldenbourg.
- Ubakus. <https://www.ubakus.de/u-wert-rechner>
- Umweltbundesamt. (2024a, 27. August). *Der Europäische Emissionshandel*. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/der-europaeische-emissionshandel#teilnehmer-prinzip-und-umsetzung-des-europaischen-emissionshandels>
- Umweltbundesamt. (2024b, 26. November). *Gesellschaftliche Kosten von Umweltbelastungen*. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-wirtschaft/gesellschaftliche-kosten-von-umweltbelastungen#gesamtwirtschaftliche-bedeutung-der-umweltkosten>
- Vogdt, F. U., Schenk, A. & Koc, A. (2019). *Urban Mining: Leitfaden zur Vermeidung nicht recyclingfähiger Bauabfälle bei künftigen kommunalen Hochbauvorhaben*. *Forschungsinitiative Zukunft Bau: F 3108*. Fraunhofer IRB Verlag.
- Walden, R. & Borrelbach, S. (2002). *Schulen der Zukunft: Gestaltungsvorschläge der Architekturpsychologie*. Asanger.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Systematisierung nichtmonetärer Investitionshemmnisse, (Scheller et al., 2021, S. 11).....	4
Abbildung 2: Wirkung monetärer Investitionshemmnisse (Raffer & Scheller, 2024, S. 19).....	5
Abbildung 3: Finanzierungsmix kommunaler Investition anteilig in Prozent (Raffer & Scheller, 2024, S. 19)	5
Abbildung 4: Beispiel 1 für Modell „Klassenraum Plus“ (Montag Stiftung Urbane Räume et al., 2013, S. 24)	10
Abbildung 5: Beispiel 2 für Modell „Klassenraum Plus“ (Montag Stiftung Urbane Räume et al., 2013, S. 25)	10
Abbildung 6: Beispiel 1 für Modell „Cluster“ (Montag Stiftung Urbane Räume et al., 2013, S. 24)	10
Abbildung 7: Beispiel 2 für Modell „Cluster“ (Montag Stiftung Urbane Räume et al., 2013, S. 25)	10
Abbildung 8: Beispiel 1 für Modell „Offene Lernlandschaft“ (Montag Stiftung Urbane Räume et al., 2013, S. 24).....	11
Abbildung 9: Beispiel 2 für Modell „Offene Lernlandschaft“ (Montag Stiftung Urbane Räume et al., 2013, S. 25).....	11
Abbildung 10: Lebenszyklusphasen zur Bewertung von Bauwerken, (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2021b, S. 31).....	12
Abbildung 11: finanzielle Auswirkungen nachhaltiger Gebäudeeigenschaften, (Dodd et al., 2021a, S. 26)	14
Abbildung 12: Ablauf und Bestandteile und Anwendung einer Ökobilanz, (Figl et al., 2019, S. 10).....	15
Abbildung 13: Überblick über die Makroziele und die dazugehörigen Indikatoren und Maßeinheiten, (Dodd et al., 2021a, S. 11)	22
Abbildung 14: Kostenebenen exemplarisch nach DIN 276 (eigene Darstellung)	29
Abbildung 15: Ausschnitt BKI Gebäude Neubau (BKI Baukosteninformationszentrum, 2024c, S. 43)	31
Abbildung 16: Ausschnitt BKI Bauelemente Neubau, Gliederung nach Ausführungsarten (BKI Baukosteninformationszentrum, 2024b, S. 575)	32
Abbildung 17: Ausschnitt aus Leistungsbereich 323 Putz- und Stuckarbeiten, Wärmedämmsysteme des BKI Positionen Altbau, (BKI Baukosteninformationszentrum, 2024a, S. 278).....	33

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 18: : Gegenüberstellung Europäischer und nationaler Emissionshandel, (Deutsche Emissionshandelsstelle, Mai/2024)	37
Abbildung 19: Einschätzung der Expert:innen bezüglich dem Stand der Nachhaltigkeit bei städtischen Baumaßnahmen, eigen Darstellung.....	41
Abbildung 20: Ausschnitt aus dem Lageplan zum Schulneubau von K.F. Seidenabel Arch. BDA mit eigenen Ergänzungen zu den aktuellen Gebäudebezeichnungen der ursprünglichen Gebäude (rot) und der späteren Ergänzungen (blau).....	43
Abbildung 21: Luftbild mit Beschriftungen (Beyss Architekten GmbH).....	44
Abbildung 22: Variante A – konventionelle Sanierung, eigene Modellierung mit Darstellung von (<i>Ubakus</i>).....	47
Abbildung 23: Variante B – nachhaltige Sanierung, eigene Modellierung mit Darstellung von (<i>Ubakus</i>).....	48
Abbildung 24: Variante C – konventioneller Neubau, eigene Modellierung mit Darstellung von (<i>Ubakus</i>).....	48
Abbildung 25: Variante D – nachhaltiger Neubau, eigene Modellierung mit Darstellung von (<i>Ubakus</i>).....	49
Abbildung 26: Ausschnitt aus dem Excel-Tool zur Ermittlung der Lebenszykluskosten gemäß BNB, (“Berechnungshilfe Für Die Ermittlung Der Lebenszykluskosten (LCC)”).....	51
Abbildung 27: Schema der Kostenermittlung und Datenauswahl, eigene Darstellung.....	53
Abbildung 28: Kosten der Bauteilschichten und Phasen in €/m ² AW und Prozentualer Anteil der Kosten der einzelnen Bauteilschichten den Gesamtkosten pro m ² AW der Variante A – konventionelle Sanierung im Szenario 1	55
Abbildung 29: Kosten der Bauteilschichten und Phasen in €/m ² AW und Prozentualer Anteil der Kosten der einzelnen Bauteilschichten den Gesamtkosten pro m ² AW der Variante B – nachhaltige Sanierung im Szenario 1	56
Abbildung 30: Kosten der Bauteilschichten und Phasen in €/m ² AW und Prozentualer Anteil der Kosten der einzelnen Bauteilschichten den Gesamtkosten pro m ² AW der Variante C – konventioneller Neubau im Szenario 1	57
Abbildung 31: Kosten der Bauteilschichten und Phasen in €/m ² AW und Prozentualer Anteil der Kosten der einzelnen Bauteilschichten an den Gesamtkosten pro m ² AW der Variante D – nachhaltiger Neubau im Szenario 1	58
Abbildung 32: browserbasierte Eingabeoberfläche von One Click LCA, (“One Click LCA”).....	59
Abbildung 33: Ausschnitt Ergebnisbericht (“One Click LCA”)	59

Abbildung 34: Menge des fossilen GWP/m ² AW [kgCO ₂ -Äq] und Prozentualer Anteil des GWP-fossil der einzelnen Bauteilschichten am Gesamt GWP der Variante A – konventionelle Sanierung im Szenario 1	61
Abbildung 35: Menge des fossilen GWP/m ² AW [kgCO ₂ -Äq] und Prozentualer Anteil des GWP-fossil der einzelnen Bauteilschichten am Gesamt GWP der Variante B – nachhaltige Sanierung im Szenario 1.....	62
Abbildung 36: Menge des fossilen GWP/m ² AW [kgCO ₂ -Äq] und Prozentualer Anteil des GWP-fossil der einzelnen Bauteilschichten am Gesamt GWP der Variante C – konventioneller Neubau im Szenario 1	63
Abbildung 37: Menge des fossilen GWP/m ² AW [kgCO ₂ -Äq] und Prozentualer Anteil des GWP-fossil der einzelnen Bauteilschichten am Gesamt GWP der Variante D – nachhaltiger Neubau im Szenario 1	64
Abbildung 38: Anteil der Mehrkosten an den Gesamtkosten durch die schrittweise CO ₂ -Preissteigerung, Variante A – konventionelle Sanierung im Szenario 1	65
Abbildung 39: Anteil der Mehrkosten an den Gesamtkosten durch die schrittweise CO ₂ -Preissteigerung, Variante B – nachhaltige Sanierung im Szenario 1	66
Abbildung 40: Anteil der Mehrkosten an den Gesamtkosten durch die schrittweise CO ₂ -Preissteigerung, Variante C – konventioneller Neubau im Szenario 1	66
Abbildung 41: Anteil der Mehrkosten an den Gesamtkosten durch die schrittweise CO ₂ -Preissteigerung, Variante C – Nachhaltiger Neubau im Szenario 1	67
Abbildung 42: Lebenszykluskosten der verschiedenen Varianten im Szenario 1 (ohne Rückbau der Tragstruktur am Lebensende), eigene Darstellung.....	68
Abbildung 43: Darstellung der Lebenszykluskosten ohne und mit CO ₂ -Bepreisung (stufenweise), eigene Darstellung	70

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Deklarierte Module in den Lebenswegphasen gemäß DGNB und BNB System, Eigene Darstellung (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, S. 4; DGNB GmbH, S. 70)	19
Tabelle 2: Übersicht über die Berücksichtigten Herstell- und Nutzungskosten zur Ermittlung der Lebenszykluskosten gemäß DGNB Methode (DGNB GmbH, 236 f) , Eigene Darstellung.....	25
Tabelle 3: Übersicht über die Berücksichtigten Herstell- und Nutzungskosten zur Ermittlung der Lebenszykluskosten gemäß BNB Methode (<i>Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) Unterrichtsgebäude Komplettmodernisierung</i>), Eigene Darstellung	27
Tabelle 4: Übersicht über die berücksichtigten Gebäudekomponenten im Rahmen der Lebenszykluskostenanalyse gemäß Level(s) (Dodd et al., 2021b, 27 f.)	27
Tabelle 5: Darstellung der Kostenstufen, Darstellung nach (BKI Baukosteninformationszentrum, 2024c, S. 73)	29
Tabelle 6: Gegenüberstellung der Bände aus der Fachbuchreihe BKI Baukosten, Eigene Darstellung in Anlehnung an (BKI Baukosteninformationszentrum, 2024c, S. 42).....	31
Tabelle 7: Übersicht über die betrachteten Kostengruppen und Bauteile, eigene Darstellung.....	45
Tabelle 8: Überblick über die Varianten mit Szenario 1 (schwarz) und Ergänzung des vollständigen Rückbaus der Tragstruktur in Szenario 2 (blau)	50
Tabelle 9: Übersicht über die in der Lebenszykluskostenanalyse betrachteten Lebenszyklusphasen, eigene Darstellung	52
Tabelle 10: Ausgewählte Lebenszyklusphasen zur Erstellung der Ökobilanz auf Bauteilebene, eigene Darstellung.....	60

Anhang

Anhang A1: Interviewleitfaden

Interview-Partner:in:

Ort:

Datum:

Dauer:

Vorbemerkung

Im Rahmen meiner Masterarbeit an der TU München vergleiche ich kommunale Bauvorhaben im Bezug auf Ihre Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit. Dabei werden nachhaltiger und konventioneller Neubau und nachhaltige und konventionelle Sanierung betrachtet. Zusammenfassend gesagt: Ist nachhaltig Bauen und Sanieren für Kommunen wirtschaftlich möglicherweise sogar interessanter als konventionell zu bauen. Dies soll anhand einer bestehenden Schule im Raum Bonn auch quantitativ betrachtet werden.

Die Masterarbeit kann im Zuge des Forschungsprojektes „BauKlima – Kommunal“, das von der Deutschen Umwelthilfe e.V., dem Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen an der Technischen Universität München und der Bildungswerkstatt für nachhaltige Entwicklung e.V. durchgeführt wird, zukünftig Verwendung finden.

Erklären Sie sich einverstanden damit, dass Ergebnisse dieses Interviews in anonymisierter Form im Rahmen der Masterarbeit und damit auch im Zuge des oben genannten Forschungsvorhabens verwendet werden?

Sind Sie mit der Aufzeichnung dieses Gesprächs einverstanden?

Teil I: Allgemeine Fragen zur Person, Kommune und Bautätigkeiten

1. Was ist Ihre Rolle in der Stadt XY? Wie beeinflussen Sie durch Ihre Position die Bautätigkeiten in Ihrer Kommune? Wie groß ist die Kommune?
2. Wie viele Schulgebäude haben Sie in Ihren Liegenschaften und stehen dort Sanierungen aus?

Teil II: Nachhaltigkeit bei kommunalen Bautätigkeiten

1. Wie schätzen Sie den aktuellen Stand des nachhaltigen Bauens bei Ihnen ein?

Anhang

- a. 1 = „wenig Beachtung“ und 10= „wir bauen nur noch nachhaltig“
 - b. Ist nachhaltig Sanieren bei Ihnen in der Kommune ein Thema?
 - c. Was ist Ihr Verständnis des Nachhaltigen Bauens?
2. Besitzt ihre Kommune ein Portfoliomanagement, dass die Priorisierung und Einschätzung des Baubestandes sowohl in finanzierungstechnischer, als auch klimaschutztechnischer Sicht zulässt?
 3. Wie werden Sanierungskonzepte für kommunale Gebäude aufgestellt, welche Leitfäden oder Standards werden verwendet und gesetzt?
 - a. Sanierungsfahrpläne der KfW oder vllt der DGNB?

Teil III: Kosten und Finanzierung kommunaler Bautätigkeiten

1. Kosten eines Gebäudes gliedern sich bekanntermaßen unter anderem in Herstellkosten (Bau- und Planungskosten) und Betriebskosten (Heizung, Strom), aber auch Kosten für Instandhaltung, Rückbau und Entsorgung verbauter Bauteile können in der Kostenaufstellung berücksichtigt werden.
 - a. Kennen und verwenden Sie Tools wie den Energiewenderechner, FinSa, TEK Tool, den Excel-Werkzeug?
 - b. Ist Ihnen der Begriff der Lebenszykluskosten geläufig und inwieweit werden diese angewandt?
2. Finanzierung von Sanierungs- und Baumaßnahmen wird oft klassisch über den Haushalt der Kommune geregelt. Seit einigen Jahrzehnten gibt es jedoch alternative Finanzierungsmodelle, wie die Public-Private-Partnerships/Öffentlich-Private-Partnerschaften?
 - a. Haben Sie in Ihrer Kommune schon Projekte mit PPP durchgeführt?
 - b. Auf welche anderen alternativen Instrumente haben Sie zurückgegriffen?

Teil IV: Hürden bei der Umsetzung Nachhaltiger Bauweisen/Sanierungen

1. Was sind aktuell Hürden, damit (nachhaltiger) saniert, statt neugebaut wird?
 - a. Vermeintlich hohe Herstellungskosten?
 - b. Behördliche Abläufe?
 - c. Vergaberichtlinien?
 - d. Personelle Engpässe oder unzureichend geschultes Personal?

Anhang A2: Ergebnisse Massenermittlung

Bezeichnung/Trakt Neu	Kostengruppe	Anmerkung Variante	Höhe Bauteil	Lichte raumhöhe	Dicke [cm]	Laufmeter [m]	Konstruktionsfläche [m²]	Wandfläche einfach [m²]	Volumen [m³]	Gewicht
UG	310	Baugrube/Erdbau								
	311	Herstellung	Aushub						250,00	
A	320	Gründung, Unterbau								
		Flachgründungen und	Streifenfundamente							
	322	Bodenplatten	Stahlbeton	0,76	49,00	122,76	60,15	0,37	45,72	
			Bodenplatte							
			Stahlbeton		25,00		182,28		45,57	
			Estrich							
	324	Gründungsbeläge	Zementgebunden		8,00		127,56		10,20	
		Abdichtungen und	Schotter unter							
	325	Bekleidungen	Fundamente	0,30	40,00	140,16	56,06		16,82	
			Schotter unter							
			Bodenplatte	0,30			182,28		54,68	
			Schotter als kapillarbrechende Schicht unter Gründung						71,50	
		nach Sanierung/Um bau/Neubau	Perimeterdämmung unter Bodenplatte		10		182,28		18,23	
		nach Sanierung/Um bau/Neubau	Perimeterdämmung an Fundamenten		10		60,10		6,01	
		Außenwände/Vertikale Baukonstruktionen, außen								
	330		Außenmauer							
	331	Tragende Außenwände	Stahlbeton	2,53	26,00	3,18	0,83	8,05	2,09	
				2,53	30,00	38,10	11,43	87,00	26,10	
				2,53	36,00	16,90	6,08	42,75	15,39	
			Summe Außenmauer							
			Stahlbeton					137,79	43,58	
			Lichtschächte							
			Stahlbeton	1,80	17,60	12,93	2,28		4,10	
		Außenwandbekleidung, außen	Außenmauer							
	335		Beschichtung					137,79	0,00	
			Außenmauer							
			Perimeterdämmung		12,00			137,79	16,53	
		Außenwandbekleidung, innen	Außenmauer Putz							
	336		innen		1,50			137,79	2,07	
		Innenwände/Vertikale Baukonstruktionen, innen								
	340		Innenwand							
	341	Tragende Innenwände	Mauerwerk	2,53	20,00	7,79	1,56	19,71	3,94	
				2,53	21,00	1,00	0,21	2,53	0,53	
				2,53	24,00	7,82	1,88	19,78	4,75	
				2,53	26,00	26,30	6,84	66,55	17,30	
				2,53	27,50	8,88	2,44	22,46	6,18	
				2,53	40,00	7,63	3,05	19,29	7,72	
			Summe Innenwände							
			Mauerwerk					150,32	40,42	
	345	Innenwandbekleidungen	Innenwand Putz		1,50			300,64	4,51	
		Decken/Horizontale Baukonstruktionen								
	350									

Anhang

351	Deckenkonstruktionen	Treppe Stahlbeton	18,00			4,00			2,62
EG									
320	Gründung, Unterbau								
	Flachgründungen und	Bodenplatte							
322	Bodenplatten	Stahlbeton	25,00			196,60			49,15
		Streifenfundamente							
		Stahlbeton	1,20	40,00	140,16	0,48			67,28
324	Gründungsbeläge	Trennlage/Dämmung	1,50			151,41			2,27
		Estrich							
		zementgebunden	5,50			151,41			8,33
		Bodenbelag	1,00			151,41			1,51
	Abdichtungen und	Schotter unter							
325	Bekleidungen	Fundamente	0,30	40,00	140,16	56,06			16,82
		Schotter unter							
		Bodenplatte	0,30			196,60			58,98
		Schotter als							
		kapillarbrechende							
		Schicht unter							
		Gründung				252,66			75,80
	nach								
	Sanierung/Um	Perimeterdämmung							
	bau/Neubau	unter Bodenplatte	10,00			196,60			19,66
	nach								
	Sanierung/Um	Perimeterdämmung							
	bau/Neubau	Fundamente	10,00			53,89			5,39
	Außenwände/Vertikale								
	Baukonstruktionen,								
	außen								
330									
331	Tragende Außenwände	Außenwand							
		Mauerwerk	3,18	24,00	16,82	4,04	53,47		12,83
		Außenwand							
		Stahlbeton	3,18	30,00	13,44	4,03	42,73		12,82
		Außenwand							
		Mauerwerk (Brüstung)	1,00	24,00	29,92	7,18	29,92		7,18
	nach								
	Sanierung/Um	Außenwand							
	bau/Neubau	Stahlbeton	3,18	30,00	14,29	4,29	45,43		13,63
	Sanierung/Um	Außenwand							
	bau/Neubau	Mauerwerk	3,18	24,00	13,12	3,15	41,72		10,01
334	Außenwandöffnungen	Fenster Außenwand							
		Typ 1							
		Fenster Außenwand							
		Typ 2							
		Verglasung							
		Außenwand (NW) Typ							
		3							
		Verglasung							
		Außenwand (NW) Typ							
		4							
		Oberlicht Tür							
		Außenwand (NW) Typ							
		1							
		Tür Außenwand (NW)							
		Typ 1							
		Oberlicht Tür							
		Außenwand (NW) Typ							
		1							
		Tür Außenwand (NW)							
		Typ 2							
	Außenwandbekleidung,	Außenwand Putz							
335	außen	außen/Fassadenfläch	2,00			173,96			3,48
		e							

336	Außenwandbekleidung, innen	Außenwand Putz innen	1,50				126,12	1,89	
340	Innenwände/Vertikale Baukonstruktionen, innen								
341	Tragende Innenwände	Innenwand Mauerwerk	3,18	15,00	4,67	0,70	14,85	2,23	
			3,18	18,00	0,32	0,06	1,02	0,18	
			3,18	20,00	2,94	0,59	5,28	1,06	
			3,18	24,00	32,38	7,77	102,97	24,71	
			3,18	26,00	21,09	5,48	67,05	17,43	
		Summe Innenwände Mauerwerk					191,17	45,61	
		nach Sanierung/Um bau/Neubau	GK Wand I	3,18	12,50	6,99	0,87	22,23	
		nach Sanierung/Um bau/Neubau	GK Wand II	3,18	25,00	2,68	0,67	8,53	
344	Innenwandöffnungen	Türen evtl							
345	Innenwandbekleidungen	Putz beidseitig	1,50				382,33	5,73	
350	Decken/Horizontale Baukonstruktionen								
351	Deckenkonstruktionen	Decke über UG Stahlbeton		22,00			161,98	35,64	
		Unterzug Stahlbeton	0,18	26,00	2,94			0,14	
		Unterzug HEB 180			7,50			150,53	
		Unterzug HEB 100			7,03			143,41	
		Stütze Rechteck Hohlprofil Stahl (160/80/5)			9,00			169,56	
		Stahlstütze (100/100/5)			6,16			96,71	
		Summe Formstahl						560,21	
		Treppe		18,00		4,00		5,24	
353	Deckenbeläge	Trennlage/Dämmung Estrich zementgebunden Bodenbelag		1,50			148,88	2,23	
				5,50			148,88	8,19	
				1,00			148,88	1,49	
354	Deckenbekleidungen	Dämmung Kellerdecke					127,56		
OG1									
330	Außenwände/Vertikale Baukonstruktionen, außen								
331	Tragende Außenwände	Außenwand Stahlbeton	3,47	30,00	22,23	6,67	77,12	23,14	
		Außenwand Stahlbeton	3,47	40,00	0,96	0,38	3,33	1,33	
		Summe Außenwand Stahlbeton						24,47	
		Außenwand Ziegel Außenwand Brüstung unter Fenster	3,47	24,00	10,33	2,48	35,86	8,61	
		Außenwand Brüstung unter Fenster	1,00	24,00	36,48	8,75	36,48	8,75	
		Außenwand Brüstung unter Fenster	1,87	24,00	28,16	6,76	52,66	12,64	
		Summe Außenwand Mauerwerk						30,00	
		mit Übergang Außenwand Ziegel Außenwand Brüstung unter Fenster	3,47	24,00	10,97	2,63	38,08	9,14	
		mit Übergang unter Fenster	1,87	24,00	24,64	5,91	46,08	11,06	

Anhang

334	Außenwandöffnungen	Fenster Außenwand Typ 1 Fenster Außenwand Typ 2 Fenster Außenwand Typ 3 Fenster Außenwand Typ 4 Fenster Außenwand Typ 5 Fenster Treppenhaus EG und OG						
335	Außenwandbekleidung, außen	Außenwand Putz außen/Fassadenfläch e	2,00			215,75	4,32	
336	Außenwandbekleidung, innen	Außenwand Putz innen	1,50			205,45	3,08	
Innenwände/Vertikale Baukonstruktionen, 340 innen								
341	Tragende Innenwände	Innenwand Mauerwerk	3,47	12,50	15,64	48,25	6,03	
			3,47	24,00	34,01	118,00	28,32	
			3,47	25,00	1,96	6,80	1,70	
		Summe Innenwände Mauerwerk				173,06	36,05	
345	Innenwandbekleidungen		1,50			346,11	5,19	
Decken/Horizontale 350 Baukonstruktionen								
351	Deckenkonstruktionen	Decke über EG Stahlbeton		22,00		346,14	76,15	
		Unterzug Stahlbeton	0,18	26,00	2,94		0,14	
		Unterzug HEB 180			7,50		150,53	
		Unterzug HEB 100			7,03		143,41	
		Stütze Rechteck Hohlprofil Stahl (160/80/5)			9,00		169,56	
		Stahlstütze (100/100/5)			6,16		96,71	
		Summe Formstahl					560,21	
353	Deckenbeläge	Trennlage/Dämmung Estrich	1,50			305,00	4,58	
		zementgebunden	5,50			305,00	16,78	
		Bodenbelag	1,00			305,00	3,05	

DG

Außenwände/Vertikale Baukonstruktionen, 330 außen								
331	Tragende Außenwände	Außenwand Giebel Stahlbeton		30,00	15,74	4,72	23,94	7,18
		Stahlbeton Kniestock	0,32	30,00	84,94	25,48		8,15
		Summe Außenwände Stahlbeton						15,34
Außenwandbekleidung Außen Putz/ 335 Fassadenfläche		Fassade Giebel und Kniestock	2,00			69,25	1,38	
Decken/Horizontale 350 Baukonstruktionen								
351	Deckenkonstruktionen	Decke über OG1 Stahlbeton Überzug	0,60	14,00		372,57	52,16	
				60,00	94,96	56,98	34,19	

	Summe			
	Deckenkonstruktionen			
	n Stahlbeton			86,35
	Dämmung oberste			
353 Deckenbeläge	Geschossdecke	12,00	285,39	34,25

Code	Materialbeschreibung	Einheit	Menge	Preis	Wert	Anteil an AW	Gesamtvolumen Auswand	Anteile Bestand : Aufbesserung in Vol. %
DG			101,68		514,28			
	Stahlbeton gesamt		0,00		207,71			
	Stahlbeton KG 320		0,00					
	Baustahl aus Stahlbeton		0,00		16.617,01			
	Stahlbeton KG 330		15,34	15,34	100,30	0,51	52,62	
	Baustahl aus Stahlbeton		1.226,87	1.226,87	8.024,10	102,64	4.209,88	
	Stahlbeton KG 340		0,00		0,00			
	Baustahl aus Stahlbeton		0,00		0,00			
	Stahlbeton KG 350		86,35	86,35	198,41			
	Baustahl aus Stahlbeton		6.907,63	6.907,63	15.872,56			
	Stahlbeton Treppe		0,00		7,86			
	Bewehrung Treppe		0,00					
	Zieglmauerwerk		0,00		172,0944707			
	Zieglmauerwerk KG 330		0,00		50,0131344	0,49		
	Zieglmauerwerk KG 340		0,00		122,0813363			
	Formstahl		0,00		1.120,42			
	Schotter		0,00		147,30			
	Estrichbeton		0,00		43,50			
	Perimeterdämmung		0,00		65,82			
	Kalkzementputz Bestand		1,38	1,38	9,18		9,18	96%
	Kalkzementputz Ausgleich		0,07	0,07	0,39		0,39	4%
	Gipskalkputz Bestand		0,00		22,48		15,90	83%
	Gipskalkputz Ausgleich		0,00		4,50		3,18	17%
	Gipskalkputz KG 330		0,00		7,04		4,97	83%
	Gipskalkputz KG 330 Ausgleich		0,00		1,41		0,99	17%
	Gipskalkputz KG 340		0,00		15,44		10,93	83%
	Gipskalkputz KG 340 Ausgleich		0,00		3,09		2,19	17%
	Trittschalldämmung m³		0,00		9,08			
	Dämmung Kellerdecke		0,00		127,56			
	Dämmung Oberste Geschossdecke		34,25	34,25	34,25			
	Dämmung Fassade MW 160		0,00		73,43			
	Dämmung Fassade WF 180		0,00		82,61			
	Unterkonstruktion Fassade Aluminium [m]		0,00		1.033,30			
	Fassadenfläche m²		69,25	69,25	458,96			
	Bodenbelag m²		0,00		605,29			

Anhang 4: Hintergrund Daten Kostenwerte

KG	KG Bezeichnung	Schicht	Schicht Unterteilung	Maßnahme/Baustoffe	Quelle	Kapitel	Nr.	S	Einh.	Netto	Mittel	bis	gewährt	Regionalfaktor	Nutzungsds.	unten	oben	
Variante A																		
336	Außenwandbekleidu ng, Innen	Innenputz	Innenputz erneuern	Kleine Schäden ausbessern und Oberfläche ausgleichen	BK Altbaukosten					0,00	0,00	0,00	29,00	26,62	50	9,0%	16,4%	
			Putzflächen kleinere Fehlstellen Spechteln		BK Altbaukosten			323.000,210	289 m²	13,00	14,00	16,00	14,88	13,00	50	7,1%	14,3%	
			Ausgleichsputz Innenwand		BK Altbaukosten			323.000,211	289 m²	22,00	24,00	29,00	14,88	13,00	50	8,3%	20,8%	
			Putzschäden ausbessern		BK Altbaukosten			323.000,206	289 m²	38,00	43,00	49,00	39,95	34,35	50	11,6%	14,0%	
			Innenputz Bestand															
			Innenputz gesamt							18,00	20,00	25,00	18,00	16,62	50			
			Innenputz gesamt	vollflächig abschlagen und entsorgen	BK Altbaukosten			323.000,165	m²									
331	Tragende Außenwände	Betonwand	Betonwand Bestand	keine Maßnahmen						297,00	342,00	383,00	342,00	313,96	50	13,2%	12,0%	
		Stahlbetonwand	Bau Stahl Bestand	keine Maßnahmen														
			Stahlbetonwand gesamt	Abbrechen und Entsorgen in Phase C	BK Altbaukosten			384.001,094	694 m³									
			Stahlbetonwand gesamt	Abbrechen und Entsorgen in Phase C						181,00	210,00	246,00	210,00	192,78	50	13,8%	17,1%	
331	Tragende Außenwandbekleidu	Mauerwerk	Mauerwerk Bestand	Abbrechen und Entsorgen in Phase C	BK Altbaukosten			384.001,095	694 m³									
335	ng, außen	Außenputz	Außenputz erneuern	Fehlstellen schließen	BK Altbaukosten			323.000,182	285 m²	5	6	7	14,00	12,85	50	11,9%	15,5%	
			Außenputz erneuern	Ausübungen entfernen	BK Altbaukosten			323.000,210	289 m²	13,00	14,00	16,00	16,00	15,7%	50	16,7%	16,7%	
			Außenputz Bestand	Putzflächen kleinere Fehlstellen Spechteln	BK Altbaukosten													
			Außenputz gesamt							18,00	20,00	25,00	18,00	16,52	50	7,1%	14,5%	
			Außenputz gesamt	vollflächig abschlagen und entsorgen	BK Altbaukosten			323.000,165	m²									
335	Außenwandbekleidu ng, außen	Hinterlüftete Fassade	Hinterlüftete Fassade FZ-Tafeln, Metall-UK, erfrischen	erfrischen	BK Neubaukosten Elemente	Ausführung: 335,40,07				286,00	307,00	355,00	335,00	307,53	50	6,8%	15,6%	
			Hinterlüftete Fassade gesamt, FZ-Tafeln, Me erfrischen							316,49	344,54	399,16	0,00		50	7,6%	15,9%	
			oder															
			Unterkonstruktion Alu	erfrischen	BK Neubaukosten Positionen			038.000,012	662 m²	75,00	84,00	113,00	95,00		50	10,7%	34,9%	
			Fassadenarmierung MW	erfrischen	BK Neubaukosten Positionen			038.000,032	663 m²	39,00	45,00	54,00	55,00		50	13,3%	20,0%	
			Faserzement-Tafeln	erfrischen	BK Neubaukosten Positionen			038.000,013	697 m²	172,00	178,00	188,00	185,00		50	3,4%	5,6%	
			Summe	erfrischen					286,00	307,00	355,00	335,00			50	6,8%	15,5%	
			oder															
			Unterkonstruktion Alu	erfrischen	BK Altbaukosten Positionen			338.000,025	444 m²	66,00	74,00	101,00	0,00			50	10,8%	36,5%
			Fassadenarmierung MW	erfrischen	BK Altbaukosten Positionen			338.000,024	443 m²	35,00	39,00	42,00	0,00			50	10,3%	7,7%
			Faserzement-Tafeln	erfrischen	BK Altbaukosten Positionen			338.000,028	446 m²	172,00	194,00	217,00	0,00			50	11,3%	11,9%
			Summe	erfrischen					273,00	307,00	360,00	0,00			50	11,1%	17,3%	
			Unterkonstruktion Aluminium	Abbrechen und entsorgen	STLB					23,07	23,79	24,77	23,79	23,79	50	3,0%	4,1%	
			Aluminium	laden, transportieren und entsorgen	STLB					13,85	14,88	16,04	14,88		50	6,9%	7,9%	
			Mineralwolle	Ausbauen und entsorgen	BK Altbaukosten Positionen					9,00	11,00	13,00			50	18,2%	18,2%	
			Mineralwolle	Ausbauen und entsorgen	STLB					14,28	14,96	15,79			50	4,5%	5,5%	
			Mineralwolle	Ausbauen und entsorgen	STLB					344,35	369,94	396,95			50	6,9%	7,6%	
			Mineralwolle	Ausbauen und entsorgen	STLB					19,00	21,00	27,00	21,00	19,28	50	9,5%	26,6%	
			Fassadenbekleidung FZ-Tafeln	Abbrechen und entsorgen	BK Altbaukosten Positionen			338.000,021	443 m²									

KG	KG Bezeichnung	Schicht	Schicht Unterteilung	Maßnahme/Baustoffe	Netto	Reginafaktor	Nutzungsgrad	m ³	kg			
Variante B												
336	Außenwandbekleidun g, innen	Innen- putz	Innenputz Bestand Lehmputz Lehmputz	vollflächig abschlagen aufbringen abbrechen und entsorgen	18,00 51,00 35,78	20,00 54,00 37,25	25,00 47,00 39,11	18,00 54,00 37,25	16,52 49,57 37,25	50 50 50	331,57 331,57 331,57	4,97 9,95 9,95
331	Tragende Außenwände	Beton- wand	Betonwand Bestand Baustahl Bestand Stahlbetonwand gesamt	keine Maßnahmen keine Maßnahmen keine Maßnahmen	297,00 342,00 383,00	342,00 342,00 383,00	342,00 342,00 383,00	342,00 342,00 383,00	313,96	50	52,62	52,62 4209,88
331	Tragende Außenwände	Mauerwerk	Mauerwerk Bestand	keine Maßnahmen	210,00	210,00	210,00	210,00	192,78	50	50,01	50,01
335	Außenwandbekleidun g, außen	Außen- putz	Außenputz erneuern Außenputz Bestand Außenputz gesamt	Fehlstellen schließen vollflächig abschlagen und entsorgen	0,00 18,00	0,00 20,00	0,00 25,00	14,00 18,00	12,85 16,52	50 50	458,96 458,96	0,39 9,18 9,57
335	Außenwandbekleidun g, außen	hinterlüftete Fassad	Fassadenbekleidung Boden-Deckel STLB Bau Ständerwand Einblasdämmung WF Summe Einblasdämmung Holzraser Holzständerwand Fassadenbekleidung, Beplankung, UK	errichten errichten errichten Ausbau und Entsorgung Abbauen und entsorgen Abreiben und entsorgen	117,00 93,01 18,00	124,00 97,88 20,00	136,00 103,74 25,00	34,00 22,00	113,83 97,88 211,71 9,31 31,21 20,20	30 50 30/50 50 50 30	458,96 458,96 458,96 458,96 458,96 458,96	16,52 73,43 11,41 16,52

KG	KG Bezeichnung	Schicht	Schicht_Unterteilung	Maßnahme/Baustoffe	Netto	Reginalfaktor	Nutzungsdaum²	m³	kg
Variante C									
	Außenwandbekleidun								
336	g. innen	Innenputz	Innenputz	anbringen	20,17	22,69	25,21	0,00	331,57
		Innenputz neu	Innenputz neu	vollflächig abschlagen und entsorgen	18,00	20,00	25,00	18,00	331,57
331	Tragende Außenwände	Stahlbeton	Stahlbeton, 25 cm, neu	errichten	171,43	191,60	218,49	218,49	458,96
		Bewehrungsstahl, neu	Bewehrungsstahl, neu	einbauen					114,74
		Stahlbetonwand Bestand mit Putz	Stahlbetonwand Bestand mit Putz	Abbriss und entsorgen	297,00	342,00	383,00	342,00	52,62
331	Tragende Außenwände	Mauerwerk	Mauerwerk Bestand mit Putz	Abbrechen und Entsorgen	181,00	210,00	246,00	210,00	50,01
335	Außenwandbekleidun g. außen	WDVS	WDVS, MW200mm, verputzt	anbringen	145,38	157,98	171,43	157,98	458,96
		WDVS	WDVS, MW200mm, verputzt	abbrechen und entsorgen	54,31	56,28	58,85	56,28	91,79
KG	KG Bezeichnung	Schicht	Schicht_Unterteilung	Maßnahme/Baustoffe	Netto	Reginalfaktor	Nutzungsdaum²	m³	kg
Variante D									
331	Tragende Außenwände	Vollholz	Brettsper Holz 20cm	errichten	244,00	263,00	289,00	263,00	458,96
		Brettsper Holz 20cm	Brettsper Holz 20cm	abbrechen und entsorgen	32,42	34,23	36,45	34,23	91,79
331	Tragende Außenwände	Stahlbeton	Stahlbetonwand Bestand mit Putz	Abbrechen und Entsorgen	297,00	342,00	383,00	342,00	52,62
331	Tragende Außenwände	Mauerwerk	Mauerwerk Bestand mit Putz	Abbrechen und Entsorgen	181,00	210,00	246,00	210,00	50,01
335	Außenwandbekleidun g. außen	Interlüfete Fassade	Außenwände	anbringen	62,87	66,09	69,98	66,09	82,61
		Interlüfete Fassade	Fassadenbekleidung Boden-Deckel	anbringen	117,00	124,00	136,00	124,00	16,52
		Interlüfete Fassade	Abbruch Dämmschicht Holzfaserplatte	Abbruch Dämmschicht Holzfaserplatte	12,53	12,87	13,32	0,00	
		Interlüfete Fassade	Fassadenbekleidung, Beplankung, UK	Abreißen und entsorgen	18,00	22,00	26,00	22,00	
							30/50		
							20,20		

Anhang 6: Lebenszykluskostenberechnung

KG	KG Bezeichnung	Schicht	Schicht Unterteilung	A0,A1-A5		B4		C1-C4		Summe LOCC	
				Herstellung und Bau Herstellkosten	GP	Abbruch EP diskontiert	Abbruch GP diskontiert	Herstellkosten EP diskontiert	Herstellkosten GP diskontiert	Rückbau/Abbriss/Verwertung EP diskontiert	GP diskontiert	Szenario 1	Szenario 2
Variante A				155.870,91	0,00	0,00	23.819,58	39.882,88	179.690,49	195.753,79	
336	Außenwandbekleidun g Innen	Innenputz	Innenputz erneuern Innenputz Bestand Innenputz gesamt	26,62	8.827,05			10,15	3.363,86		
331	Tragende Außenwände	Stahlbetonwand	Betonwand Bestand Baus Stahl Bestand Stahlbetonwand gesamt				192,76	10.143,68			
Tragende Außenwände				118,36	5.919,61	10,15	4.656,30				
331	Tragende Außenwände	Mauernwerk	Mauernwerk Bestand				118,36	5.919,61			
335	Außenwandbekleidun g außen	Außenputz	Außenputz erneuern Außenputz Bestand Außenputz gesamt	12,85	5.898,61			10,15	4.656,30		
Außenwandbekleidun g außen				307,53	141.145,25	14,61	6.703,79	7,98	3.663,27	11,84	5.432,35
335	Außenwandbekleidun g außen	Hinterlüftete Fassade	Hinterlüftete Fassade/FZ-Tafeln, Metall-UK, Unterkonstruktion Aluminium Mineralwolle Fassadenbekleidung FZ-Tafeln								

KG	KG Bezeichnung	Schicht	Schicht_Unterteilung	A0,A1-A5		B4		C1-C4		Summe LCC		
				Herstellkosten EP	GP	Abbruch EP diskontiert	Abbruch GP diskontiert	Herstellkosten EP diskontiert	Herstellkosten GP diskontiert	EP diskontiert	GP diskontiert	Szenario 1	Szenario 2
Variante B					124.982,26		6.917,24		29.348,50		200.236,06	216.299,35
	Außenwandbekleidun g. innen	Innen- putz	Innenputz Bestand Lehmputz Lehmputz	16,52 49,57	5.478,86 16.436,57							
331	Tragende Außenwände	Stahl- Beton- wand	Betonwand Bestand Baustahl Bestand Stahlbetonwand gesamt						192,76		10.143,68	
331	Tragende Außenwände	Mauwerk	Mauwerk Bestand						118,36		5.919,61	
335	Außenwandbekleidun g. außen	Außen- putz	Außenputz erneuern Außenputz Bestand Außenputz gesamt	12,85	5.898,61							
335	Außenwandbekleidun g. außen	Fassadenbekleidun g. außen	Fassadenbekleidung Boden-Deckel STLB Bau Ständerwand Einblasdämmung WF Summe Einblasdämmung Holzfaser Holzständerwand Fassadenbekleidung, Beplankung, UK			84,95	38.988,06					
		hinterlüftete Fassad		211,71	97.168,22				5,71	2.622,79		
									19,16	8.795,24		
									15,07	6.917,24		
									12,40	5.691,04		

Anhang 7: Ökobilanz & CO₂-Bepreisung

Szenario 1: Rückbau der Äußeren Schichten nach 50 Jahren																		
KG	KG Bezeichnung	Schicht	Schicht_Unterteilung	AO_A1-A3			B4-B5			C3-C4			Summe Sanitär					
				Herstellung	Preissteigerung CO2	Ersatz	Preissteigerung CO2	Rückbau/Ent	Preissteigerung CO2	Rückbau/Ent	Preissteigerung CO2	Summe Sanitär	Preissteigerung CO2	Summe Sanitär	Preissteigerung CO2	Summe Sanitär		
				Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
				20,00 €	175,00 €	815,00 €	20,00 €	175,00 €	815,00 €	20,00 €	175,00 €	815,00 €	20,00 €	175,00 €	815,00 €	20,00 €	175,00 €	815,00 €
				GWP fossil	GWP fossil	GWP fossil	GWP fossil	GWP fossil	GWP fossil	GWP fossil	GWP fossil	GWP fossil	GWP fossil	GWP fossil	GWP fossil	GWP fossil	GWP fossil	GWP fossil
Variante A				16.086,61	321,73	2.815,16	13.110,61	652,30	8,01	70,09	326,40	16,74	413,63	3.619,24	16.885,29			
336	Außenwandbekleidu g, innen	Innenputz	Innenputz erneuern Innenputz Bestand Innenputz gesamt	132,12 645,05 777,17	2,64 12,90 15,54	23,12 112,88 136,00	107,68 525,72 633,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	132,12	2,64	23,12	107,68
331	Tragende Außenwände	Stahl- beton- wand	Betonwand Bestand Bausahl Bestand 2.565,71 0,00	9,524,22 51,31 0,00	190,48 449,00 0,00	1,666,74 2,091,05 0,00	7,762,24 2,091,05 0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	88,87	1,09	9,55	44,47
331	Tragende Außenwände	Mauerwerk	Mauerwerk Bestand Außenputz erneuern Außenputz Bestand Außenputz gesamt	5,651,13 136,68 3,280,36 3,417,04	113,02 2,73 65,61 68,34	988,95 23,92 574,06 597,98	4,605,67 111,40 2,673,49 2,784,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	136,68	2,73	30,61	142,57
335	Außenwandbekleidu g, außen	Hinterlüferte Fassadenbekleidu	Hinterlüferte, FassadenFZ-Tafeln, Metall-UK, Mineralwolle Fassadenbekleidu FZ-Tafeln	15,817,84	316,36	2.788,12	12.891,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	276,51	3,42	29,92	139,36	315,78	2.798,05
													25,04					13.030,90
													153,78					
													96,69					

Szenario 1: Rückbau der Äußeren Schichten nach 50 Jahren															
KG	KG Bezeichnung	Schicht	Schicht_Unterteilung	C3-C4			Summe Sanitär			Summe Mehrpreis CO2					
				Rückbau/Abt	Preissteigerung CO2	Stufe 3	Rückbau/Abt	Preissteigerung CO2	Stufe 3	Rückbau/Abt	Preissteigerung CO2	Stufe 3	Rückbau/Abt	Preissteigerung CO2	Stufe 3
				Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
				20,00 €	175,00 €	815,00 €	20,00 €	175,00 €	815,00 €	20,00 €	175,00 €	815,00 €	20,00 €	175,00 €	815,00 €
				GWP fossil	GWP fossil	GWP fossil	GWP fossil	GWP fossil	GWP fossil	GWP fossil	GWP fossil	GWP fossil	GWP fossil	GWP fossil	GWP fossil
Variante A				16,96	415,07	3.658,09	17.036,25								
336	Außenwandbekleidu ng, innen	Innenputz	Innenputz erneuern Innenputz Bestand Innenputz gesamt	132,12	2,64	23,12	107,68	88,87	16,63	145,55	677,86				
331	Tragende Außenwände	Beton- wand	Betonwand Bestand Bausahl Bestand 262,57 0,00	3,22	28,21	131,39	262,57	3,22	28,21	131,39					
331	Tragende Außenwände	Mauerwerk	Mauerwerk Bestand Außenputz erneuern Außenputz Bestand Außenputz gesamt	99,07	1,22	10,64	49,57	99,07	1,22	10,64	49,57				
335	Außenwandbekleidu	Außenputz	Außenputz erneuern Außenputz Bestand Außenputz gesamt	284,92	71,84	628,60	2.927,46								
335	Außenwandbekleidu ng, außen	Hinterlüferte Fassadenbekleidu	Hinterlüferte, FassadenFZ-Tafeln, Metall-UK, Mineralwolle Fassadenbekleidu FZ-Tafeln	16,096,35	315,78	2.798,05	13.030,90								

Szenario 1: Rückbau der Äußeren Schichten nach 50 Jahren																						
KG	KG Bezeichnung	Schicht	Schicht_Unterteilung	B4-B5			C3-C4			Preissteigerung CO2			Summe Mehrpreis CO2									
				Herstellung	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Erstanz	Rückbau/Entstufe	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3							
336	Äußenwandbekleidun g. innen	Innenputz Innenputz neu		34.876,84	697,54	2,58 €	6.103,45	28.424,62	7.785,48	105,40	0,00 €	0,00 €	0,00 €	135,04	1,66	14,51	67,57	42,80	804,59 €	7.040,19 €	32.787,17 €	
331	Tragende Äußenwände	Stahlbetonm Stahlbeton, 25 cm, neu Bewehrungsstahl, neu Stahlbetonwand Bestand mit Putz		20.767,94	415,36 €	3.634,39 €	16.925,87 €	0,00	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	20.767,94	415,36 €	3.634,39 €	16.925,87 €	
331	Tragende Äußenwände	Mauerwerk Mauerwerk Bestand mit Putz		5.594,30	111,89 €	979,00 €	4.559,35 €	0,00	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	5.594,30	111,89 €	979,00 €	4.559,35 €	
335	Äußenwandbekleidun g. außen	WDVS WDVS, MW200mm, verputzt WDVS, MW200mm, verputzt		336,55	6,73 €	58,90 €	274,29 €	0,00	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	336,55	6,73 €	58,90 €	274,29 €	
331	Tragende Äußenwände	Mauerwerk Mauerwerk Bestand mit Putz		7.665,18	153,30 €	1.341,41 €	6.247,12 €	7.785,48	105,40 €	922,23 €	4.294,98 €	0,00	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	383,99	7,68 €	67,20 €	312,95 €	
335	Tragende Äußenwände	WDVS WDVS, MW200mm, verputzt WDVS, MW200mm, verputzt		22.854,89	461,09	3.947,07	18.382,07	1.820,21	36,40	318,54	1.107,05	136,66	2,73	23,92	111,38	24,51	490,23 €	4.289,52 €	19.600,50 €			
331	Tragende Äußenwände	Vollholz Brettspertholz 20cm Brettspertholz 20cm		10.932,19	218,64 €	1.913,13 €	8.909,73 €	0,00	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	10.932,19	218,64 €	1.913,13 €	8.909,73 €	
331	Tragende Äußenwände	Mauerwerk Mauerwerk Bestand mit Putz		336,55	6,73 €	58,90 €	274,29 €	0,00	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	336,55	6,73 €	58,90 €	274,29 €	
331	Tragende Äußenwände	Mauerwerk Mauerwerk Bestand mit Putz		383,99	7,68 €	67,20 €	312,95 €	0,00	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	383,99	7,68 €	67,20 €	312,95 €	
335	Äußenwandbekleidun g. außen	Äußenwände Fassadenbekleidung Holzfaserplatten 18cm Fassadenbekleidung Boden-Deckel Abbruch Dämmschicht Holzfaserplatte Fassadenbekleidung, Beplankung, UK		9.184,04	183,68 €	1.607,21 €	7.484,99 €	0,00	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	9.184,04	183,68 €	1.607,21 €	7.484,99 €	
				1.717,92	34,36 €	300,64 €	1.400,10 €	1.820,21	36,40 €	318,54 €	1.107,05 €	34,37	0,69 €	6,01 €	28,01 €	83,37 €	102,29	2,05 €	17,90 €	83,37 €	2,05 €	17,90 €

KG	KG Bezeichnung	Schicht	Schicht_Unterteilung	C3-C4			Preisstiegung CO2			Summe Sanitär	Summe Metallpreis CO2		
				Rückbau/abr. Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3				
KG				20,00 €	175,00 €	815,00 € GWP							
Variante C				43,37	811,62 €	7.101,71 €							
336	Außenwandbekleidu ng, innen	Innenputz	Innenputz neu		128,88	2,58 €	22,55 €	105,04 €					
					14,74	0,18 €	1,58 €	7,38 €					
331	Tragende Außenwände	Stahlbeton	Stahlbeton, 25-cm, neu Bewehrungsstahl, neu Stahlbetonwand Bestand mit Putz	572,59 0,00	7,03 € 0,00 €	61,52 € 0,00 €	286,50 € 0,00 €	21.340,49 5.594,30	422,39 € 111,89 €	3.695,91 € 979,00 €	17.212,37 € 4.559,35 €		
	Tragende	Mauerwerk	Mauerwerk Bestand mit Putz		383,99	7,69 €	67,20 €	312,95 €					
335	ng, außen	WDVS	WDVS, MW200mm, verputzt WDVS, MW200mm, verputzt		15.450,66 120,30	259,70 € 1,48 €	2.263,64 € 12,93 €	10.542,10 € 60,20 €					
KG	KG Bezeichnung	Schicht	Schicht_Unterteilung		25,09	497,32 €	4.351,58 €	19.889,91 €					
Variante D													
331	Tragende Außenwände	Vollholz	Brettspernholz 20cm Brettspernholz 20cm	577,58	7,09 €	62,06 €	289,01 €	10.932,19 577,58	218,64 € 7,09 €	1.913,13 € 62,06 €	8.909,73 € 289,01 €		
331	Tragende Außenwände	Stahlbeton	Stahlbetonwand Bestand mit Putz		336,55	6,73 €	58,90 €	274,29 €					
331	Tragende Außenwände	Mauerwerk	Mauerwerk Bestand mit Putz		383,99	7,68 €	67,20 €	312,95 €					
335	ng, außen	Außenwandbekleidu	Außenwandbekleidu mit Putz Fassadenbekleidung Boden-Deckel Abbruch Dämmerschicht Holztafelplatte Fassadenbekleidung, Bepflanzung, UK		9.184,04 3.538,13 34,37 102,29	183,69 € 70,76 € 0,69 € 2,05 €	1.607,21 € 6.191,17 € 6,01 € 17,90 €	7.484,99 € 2.507,16 € 28,01 € 83,37 €					

Anhang 8: Zusammenfassung Ergebnisse

Variante A	Kostengesamt nach Lebenszyklusphasen		Kostengesamt nach Bauteilschichten	
	Kosten gesamt [€]	Kosten pro m ² AW [€] Anteil	Kosten gesamt [€]	Kosten pro m ² AW [€] Anteil
Szenario 1				
A1-A5_Herstellung Putzerneuerung, innen & außen			14.725,66	32,08 8,20%
A1-A5_Herstellung Fassade			141.145,25	307,53 78,55%
A1-A5_Summe	155.870,91	339,62 86,74%		
C1-C5_Rückbau Putzsichten, innen & außen			8.020,16	17,47 4,46%
C1-C5_Rückbau Fassade			15.799,41	34,42 8,79%
C1-C5_Summe	23.819,57	51,90 13,26%		
	179.690,48	391,52	179.690,48	391,52
Kostengesamt nach Lebenszyklusphasen				
	155.870,91	339,62		
	23.819,57	51,90		
	179.690,48	391,52		
Kostengesamt nach Bauteilschichten				
			14.725,66	32,08 7,52%
			141.145,25	307,53 72,10%
			8.020,16	17,47 4,10%
			15.799,41	34,42 8,07%
			16.063,29	35,00 8,21%
			195.753,77	426,52
Kostengesamt nach Lebenszyklusphasen				
	155.870,91	339,62 79,63%		
	39.882,86	86,90 20,37%		
	195.753,77	426,52		
Kostengesamt nach Bauteilschichten				
			14.725,66	32,08 7,52%
			141.145,25	307,53 72,10%
			8.020,16	17,47 4,10%
			15.799,41	34,42 8,07%
			16.063,29	35,00 8,21%
			195.753,77	426,52

Variante B	Kostengesamt nach Lebenszyklusphasen			Kostengesamt nach Bauteilschichten		
	Szenario 1	Kosten gesamt [€]	Kosten pro m ² AW [€] Anteil	Kosten gesamt [€]	Kosten pro m ² AW [€] Anteil	Prozentualer Anteil
A0_Rückbau Putz innen						
A0_Summe		5.478,86	11,94	5.478,86	11,94	2,74%
A1-A5_Herstellen Lehmputz, innen				16.436,57	35,81	8,21%
A1-A5_Herstellung Putzerneuerung, außen				5.898,61	12,85	2,95%
A1-A5_Herstellung Fassade				97.168,22	211,71	48,53%
A1-A5_Summe		119.503,40	260,38	45.905,30	100,02	22,93%
B4_Ersatz Holzfassade				45.905,30	100,02	22,93%
B4_Summe		45.905,30	100,02	45.905,30	100,02	22,93%
C1-C5_Rückbau Putzschichten, innen & außen				12.239,43	26,67	6,11%
C1-C5_Rückbau Fassade				17.109,07	37,28	8,54%
C1-C5_Summe		29.348,50	63,95	29.348,50	63,95	14,86%
		200.236,06	436,28	200.236,06	436,28	

Szenario 2	Kostengesamt nach Lebenszyklusphasen			Kostengesamt nach Bauteilschichten		
	Kosten gesamt [€]	Kosten pro m ² AW [€] Anteil	Prozentualer Anteil	Kosten gesamt [€]	Kosten pro m ² AW [€] Anteil	Prozentualer Anteil
A0_Rückbau Putz innen						
A0_Summe	5.478,86	11,94	2,53%	5.478,86	11,94	2,53%
A1-A5_Herstellen Lehmputz, innen				16.436,57	35,81	7,60%
A1-A5_Herstellung Putzerneuerung, außen				5.898,61	12,85	2,73%
A1-A5_Herstellung Fassade				97.168,22	211,71	44,92%
A1-A5_Summe	119.503,40	260,38	55,25%	45.905,30	100,02	21,22%
B4_Ersatz Holzfassade				45.905,30	100,02	21,22%
B4_Summe	45.905,30	100,02	21,22%	45.905,30	100,02	21,22%
C1-C5_Rückbau Putzschichten, innen & außen				12.239,43	26,67	5,66%
C1-C5_Rückbau Fassade				17.109,07	37,28	7,91%
C1-C5_Rückbau Tragstruktur				16.063,29	35,00	7,43%
C1-C5_Summe	45.411,79	98,94	20,99%	29.348,50	63,95	14,86%
	216.299,35	471,28		216.299,35	471,28	

Variante C	Kostengesamt nach Bauteilschichten		Kostengesamt nach Bauteilschichten	
	Kosten gesamt [€]	Kosten pro Prozentualer m ² AW [€] Anteil	Kosten gesamt [€]	Kosten pro Prozentualer m ² AW [€] Anteil
Szenario 1				
A0_Rückbau Tragstruktur mit Putz, Bestand			26.162,98	57,00 9,55%
A0_Summe	26.162,98	57,00 9,55%		
A1-A5_Herstellen Tragstruktur, Neu			92.055,10	200,57 33,59%
A1-A5_Herstellung Putzerneuerung,innen			7.523,01	16,39 2,74%
A1-A5_Herstellung WDVS Fassade			66.562,92	145,03 24,29%
A1-A5_Summe	166.141,03	361,99 60,62%		
B4_Ersatz WDVS Fassade			62.540,15	136,26 22,82%
B4_Summe	62.540,15	136,26 22,82%		
C1-C5_Rückbau Putzsichten, innen			3.363,86	7,33 1,23%
C1-C5_Rückbau Fassade			15.859,16	34,55 5,79%
C1-C5_Summe	19.223,02	41,88 7,01%		
	274.067,18	597,15	274.067,18	597,15
Kostengesamt nach Lebenszyklusphasen				
Szenario 2				
A0_Rückbau Tragstruktur mit Putz, Bestand			26.162,98	57,00 8,83%
A0_Summe	26.162,98	57,00 8,83%		
A1-A5_Herstellen Tragstruktur, Neu			92.055,10	200,57 31,08%
A1-A5_Herstellung Putzerneuerung, innen			7.523,01	16,39 2,54%
A1-A5_Herstellung WDVS Fassade			66.562,92	145,03 22,47%
A1-A5_Summe	166.141,03	361,99 56,09%		
B4_Ersatz WDVS Fassade			62.540,15	136,26 21,12%
B4_Summe	62.540,15	136,26 21,12%		
C1-C5_Rückbau Putzsichten, innen			3.363,86	7,33 1,14%
C1-C5_Rückbau Fassade			15.859,16	34,55 5,35%
C1-C5_Rückbau Tragstruktur			22.117,44	48,19 7,47%
C1-C5_Summe	41.340,46	90,07 13,96%		
	296.184,62	645,34	296.184,62	645,34
Kostengesamt nach Bauteilschichten				
			26.162,98	57,00 8,83%
			92.055,10	200,57 31,08%
			7.523,01	16,39 2,54%
			66.562,92	145,03 22,47%
			62.540,15	136,26 21,12%
			3.363,86	7,33 1,14%
			15.859,16	34,55 5,35%
			22.117,44	48,19 7,47%
			296.184,62	645,34

Variante A	GWP Fossil nach Lebenszyklusphasen		GWP Fossil Bauteilschichten		CO2 Mehrpreis Summe			CO2 Mehrpreis /m ² AW			CO2 Mehrpreis Anteil an Gesamtkosten		
	kgCO ₂ -Äq. m ² AW	kgCO ₂ -Äq/ m ² AW / Prozentualer Anteil	kgCO ₂ -Äq. m ² AW	kgCO ₂ -Äq/ m ² AW / Prozentualer Anteil	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1_	Stufe 2_	Stufe 3_
Szenario 1													
A1-A5_Herstellung Putzerneuerung, innen & außen			268,80	0,59	1,61%								
A1-A5_Herstellung Fassade			15.817,84	34,46	94,50%								
A1-A5_Summe	16.086,64	35,05	16.086,64	35,05	96,10%								
C1-C5_Rückbau Putzschichten, innen & außen			373,79	0,81	2,23%								
C1-C5_Rückbau Fassade			278,51	0,61	1,66%								
C1-C5_Summe	652,30	1,42	652,30	1,42	3,90%	413,63	3.619,24	16.855,29	0,90	7,89	36,72	0,23%	8,58%
Szenario 2													
A1-A5_Herstellung Putzerneuerung, innen & außen			268,80	0,59	1,57%								
A1-A5_Herstellung Fassade			15.817,84	34,46	92,50%								
A1-A5_Summe	16.086,64	35,05	16.086,64	35,05	94,07%								
C1-C5_Rückbau Putzschichten, innen & außen			373,79	0,81	2,19%								
C1-C5_Rückbau Fassade			278,51	0,61	1,63%								
C1-C5_Rückbau Tragstruktur			361,64	0,79	2,11%								
C1-C5_Summe	1.013,94	2,21	1.013,94	2,21	5,93%	418,07	3.658,09	17.036,25	0,91	7,97	37,12	0,21%	8,01%
			17.100,58	37,26									

Variante B	GWP Fossil nach Lebenszyklusphasen		GWP Fossil Bauteilschichten		CO2 Mehrpreis Summe			CO2 Mehrpreis /m ² AW			CO2 Mehrpreis Anteil an Gesamtkosten				
	kgCO ₂ -Äq.	kgCO ₂ -Äq/ m ² AW	Prozentualer Anteil	kgCO ₂ -Äq.	kgCO ₂ -Äq/ m ² AW	Prozentualer Anteil	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1_	Stufe 2_	Stufe 3_
Szenario 1															
A0_Rückbau Putz innen															
A0 Summe	73,98	0,16	1,04%	73,98	0,16	1,04%									
A1-A5_Herstellung Lehnputz, innen				922,72	2,01	12,95%									
A1-A5_Herstellung Putzerneuerung, außen				136,68	0,30	1,92%									
A1-A5_Herstellung Fassade				3.616,35	7,88	50,76%									
A1-A5 Summe	4.675,75	10,19	65,63%	4.675,75	10,19	65,63%									
B4_Ersatz Holzfassade				1.820,21	3,97	25,55%									
B4 Summe	1.820,21	3,97	25,55%	1.820,21	3,97	25,55%									
C1-C5_Rückbau Putzschichten, innen & außen				312,75	0,68	4,39%									
C1-C5_Rückbau Fassade				241,56	0,53	3,39%									
C1-C5 Summe	554,31	1,21	7,78%	554,31	1,21	7,78%	128,97	1.128,47	5.255,45	0,28	2,46	11,45	0,06%	0,56%	2,56%
Summe	7.124,25	15,52		7.124,25	15,52										
Szenario 2															
A0_Rückbau Putz innen															
A0 Summe	73,98	0,16	0,99%	73,98	0,16	0,99%									
A1-A5_Herstellung Lehnputz, innen				922,72	2,01	12,33%									
A1-A5_Herstellung Putzerneuerung, außen				136,68	0,30	1,83%									
A1-A5_Herstellung Fassade				3.616,35	7,88	48,31%									
A1-A5 Summe	4.675,75	10,19	62,46%	4.675,75	10,19	62,46%									
B4_Ersatz Holzfassade				1.820,21	3,97	24,32%									
B4 Summe	1.820,21	3,97	24,32%	1.820,21	3,97	24,32%									
C1-C5_Rückbau Putzschichten, innen & außen				312,75	0,68	4,18%									
C1-C5_Rückbau Fassade				241,56	0,53	3,23%									
C1-C5_Rückbau Tragstruktur				361,64	0,79	4,83%									
C1-C5 Summe	915,95	2,00	12,24%	915,95	2,00	12,24%	133,41	1.167,33	5.436,41	0,29	2,54	11,85	0,06%	0,54%	2,45%
Summe	7.485,89	16,31		7.485,89	16,31										

Variante D	GWP Fossil nach Lebenszyklusphasen			GWP Fossil Bauteilschichten			CO2 Mehrpreis Summe			CO2 Mehrpreis /m ² AW			CO2 Mehrpreis Anteil an Gesamtkosten		
	kgCO ₂ -Äq.	kgCO ₂ -Äq/ m ² AW	Prozentualer Anteil	kgCO ₂ -Äq.	kgCO ₂ -Äq/ m ² AW	Prozentualer Anteil	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1_ Preissteiger ung 20 €/to CO ₂ -Äq	Stufe 2_ Preissteiger ung 175 €/to CO ₂ -Äq	Stufe 3_ Preissteiger ung 815 €/to CO ₂ -Äq
Szenario 1															
A0 Rückbau Tragstruktur mit Putz, Bestand															
A0_Summe	720,54	1,57	2,94%	720,54	1,57	2,87%									
A1-A5 Herstellen Tragstruktur, Neu				10.932,19	23,82	43,57%									
A1-A5 Herstellung Fassade				10.901,96	23,75	43,45%									
A1-A5_Summe	21.834,15	47,57	89,08%	1.820,21	3,97	7,25%									
B4 Ersatz Holzfasadenbekleidung				1.820,21	3,97	7,25%									
B4_Summe	1.820,21	3,97	7,43%	136,66	0,30	0,56%									
C1-C5 Rückbau Fassade				136,66	0,30	0,56%									
C1-C5_Summe	136,66	0,30	0,56%	24.511,56	53,41		490,23	4.289,52	19.600,50	1,07	9,35	42,71	0,18%	1,54%	6,66%
Szenario 2															
A0 Rückbau Tragstruktur mit Putz, Bestand															
A0_Summe	720,54	1,57	2,87%	720,54	1,57	2,87%									
A1-A5 Herstellen Tragstruktur, Neu				10.932,19	23,82	43,57%									
A1-A5 Herstellung Fassade				10.901,96	23,75	43,45%									
A1-A5_Summe	21.834,15	47,57	87,03%	1.820,21	3,97	7,25%									
B4 Ersatz Holzfasadenbekleidung				1.820,21	3,97	7,25%									
B4_Summe	1.820,21	3,97	7,25%	136,66	0,30	0,54%									
C1-C5 Rückbau Fassade				577,58	1,26	2,30%									
C1-C5_Summe	714,24	1,56	2,85%	25.089,14	54,67		497,32	4.351,58	19.889,51	1,08	9,48	43,34	0,17%	1,51%	6,54%

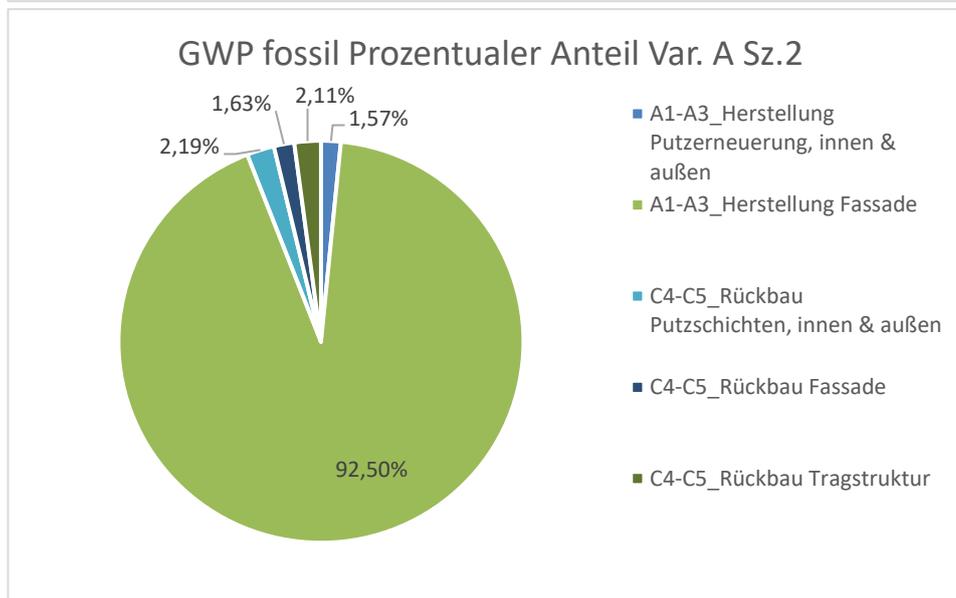
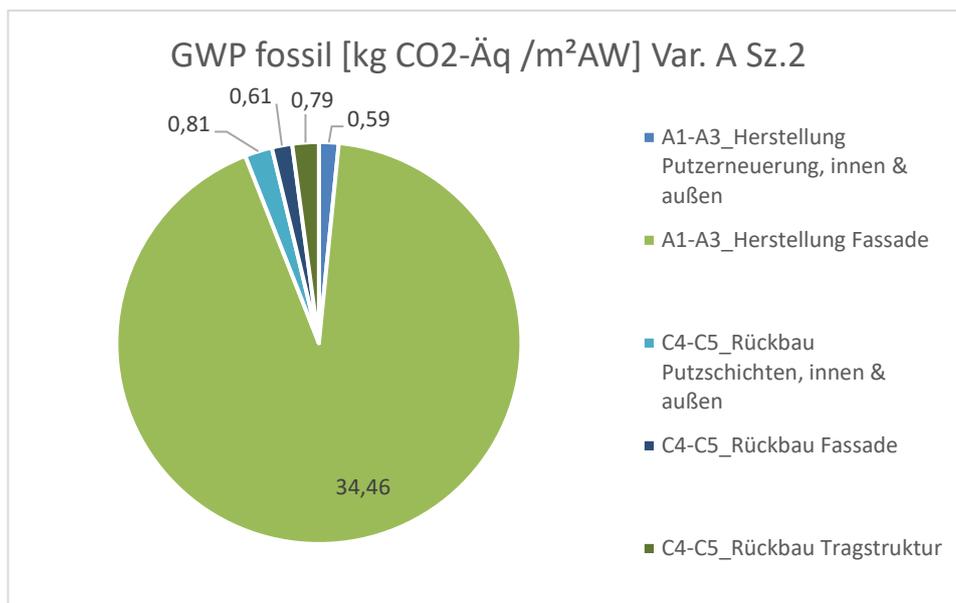
Variante A	Gesamtpreis inklusive CO2 Preis			Gesamt Preis inklusive CO2 Preis /m ² AW		
	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3			
Szenario 1						
A1-A5_Herstellung Putzerneuerung, innen & außen						
A1-A5_Herstellung Fassade						
A1-A5_Summe						
C1-C5_Rückbau Putzschichten, innen & außen						
C1-C5_Rückbau Fassade						
C1-C5_Summe						
	180.104,11	183.309,72	196.545,78	392,42	399,40	428,24
Szenario 2						
A1-A5_Herstellung Putzerneuerung, innen & außen						
A1-A5_Herstellung Fassade						
A1-A5_Summe						
C1-C5_Rückbau Putzschichten, innen & außen						
C1-C5_Rückbau Fassade						
C1-C5_Rückbau Tragstruktur						
C1-C5_Summe						
	196.171,84	199.411,87	212.790,03	427,43	434,49	463,64
Variante B						
Szenario 1						
A0_Rückbau Putz innen						
A0_Summe						
A1-A5_Herstellen Lehmputz, innen						
A1-A5_Herstellung Putzerneuerung, außen						
A1-A5_Herstellung Fassade						
A1-A5_Summe						
B4_Ersatz Holzfassade						
B4_Summe						
C1-C5_Rückbau Putzschichten, innen & außen						
C1-C5_Rückbau Fassade						
C1-C5_Summe						
	200.365,03	201.364,53	205.491,51	436,56	438,74	447,73
Szenario 2						
A0_Rückbau Putz innen						
A0_Summe						
A1-A5_Herstellen Lehmputz, innen						
A1-A5_Herstellung Putzerneuerung, außen						
A1-A5_Herstellung Fassade						
A1-A5_Summe						
B4_Ersatz Holzfassade						
B4_Summe						
C1-C5_Rückbau Putzschichten, innen & außen						
C1-C5_Rückbau Fassade						
C1-C5_Rückbau Tragstruktur						
C1-C5_Summe						
	216.432,76	217.466,68	221.735,76	471,57	473,82	483,13

Anhang

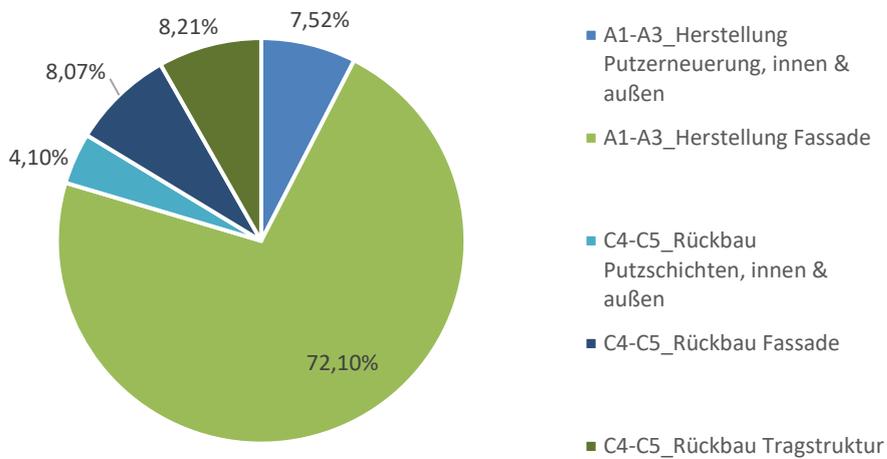
Variante C						
Szenario 1						
A0_Rückbau Tragstruktur mit Putz, Bestand						
A0_Summe						
A1-A5_Herstellen Tragstruktur, Neu						
A1-A5_Herstellung Putzerneuerung,innen						
A1-A5_Herstellung WDVS Fassade						
A1-A5_Summe						
B4_Ersatz WDVS Fassade						
B4_Summe						
C1-C5_Rückbau Putzschichten, innen						
C1-C5_Rückbau Fassade						
C1-C5_Summe						
	274.871,77	281.107,37	306.854,35	598,90	612,49	668,59
Szenario 2						
A0_Rückbau Tragstruktur mit Putz, Bestand						
A0_Summe						
A1-A5_Herstellen Tragstruktur, Neu						
A1-A5_Herstellung Putzerneuerung,innen						
A1-A5_Herstellung WDVS Fassade						
A1-A5_Summe						
B4_Ersatz WDVS Fassade						
B4_Summe						
C1-C5_Rückbau Putzschichten, innen						
C1-C5_Rückbau Fassade						
C1-C5_Rückbau Tragstruktur						
C1-C5_Summe						
	296.996,24	303.286,32	329.258,29	647,11	660,81	717,40
Variante D						
Szenario 1						
A0_Rückbau Tragstruktur mit Putz, Bestand						
A0_Summe						
A1-A5_Herstellen Tragstruktur, Neu						
A1-A5_Herstellung Fassade						
A1-A5_Summe						
B4_Ersatz Holzfassadenbekleidung						
B4_Summe						
C1-C5_Rückbau Fassade						
C1-C5_Summe						
	275.263,50	279.062,79	294.373,77	599,75	608,03	641,39
Szenario 2						
A0_Rückbau Tragstruktur mit Putz, Bestand						
A0_Summe						
A1-A5_Herstellen Tragstruktur, Neu						
A1-A5_Herstellung Fassade						
A1-A5_Summe						
B4_Ersatz Holzfassadenbekleidung						
B4_Summe						
C1-C5_Rückbau Fassade						
C1_C5_Rückbau Tragstruktur						
C1-C5_Summe						
	284.916,28	288.770,53	304.308,47	620,79	629,18	663,04

Anhang 9: Grafische Auswertung der Ergebnisse Szenario 2

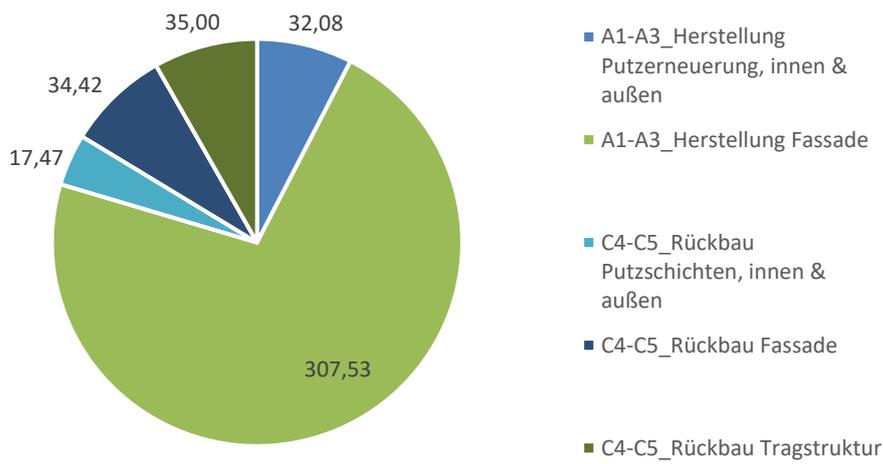
Variante A



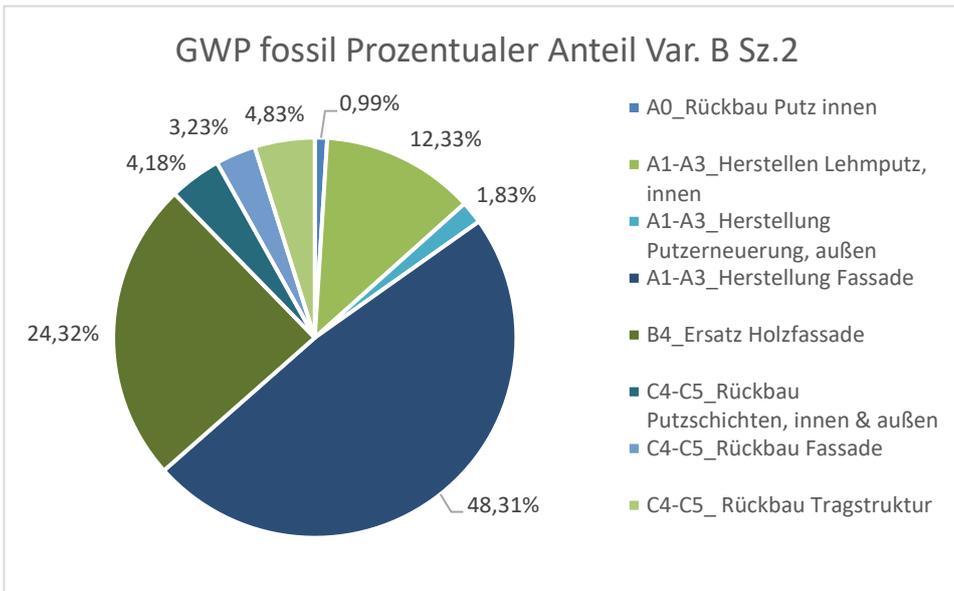
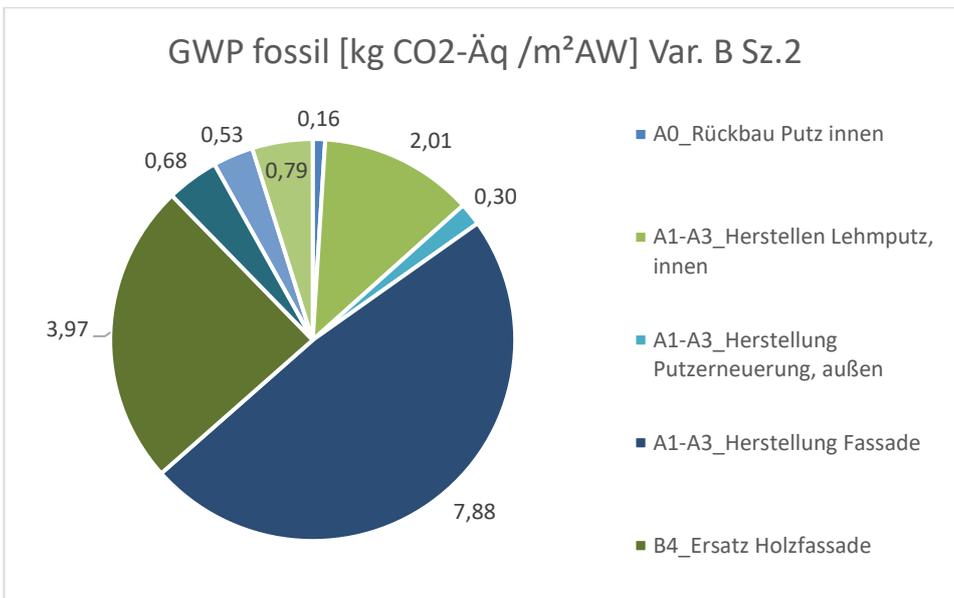
LCC Prozentualer Anteil Variante A Sz.2



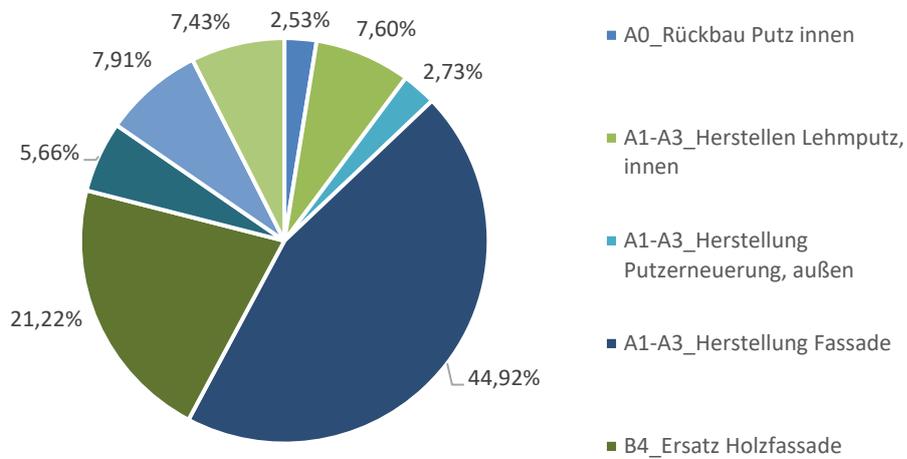
LCC [€/m² AW] Variante A Sz.2



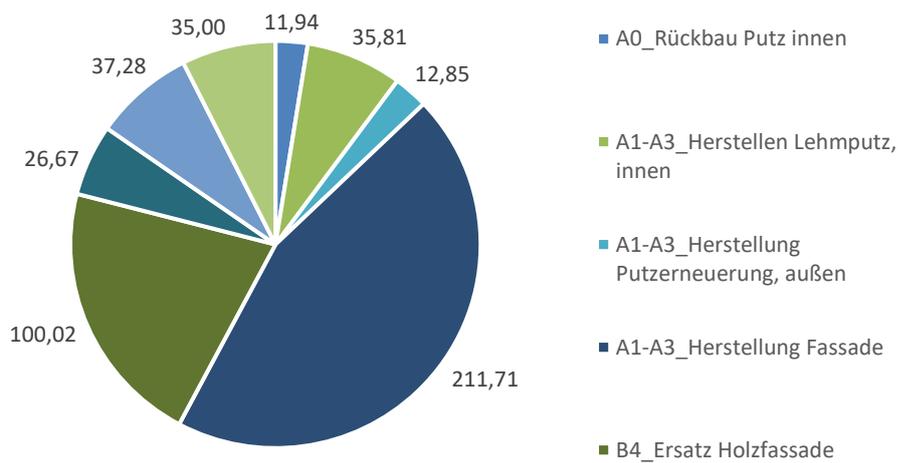
Variante B



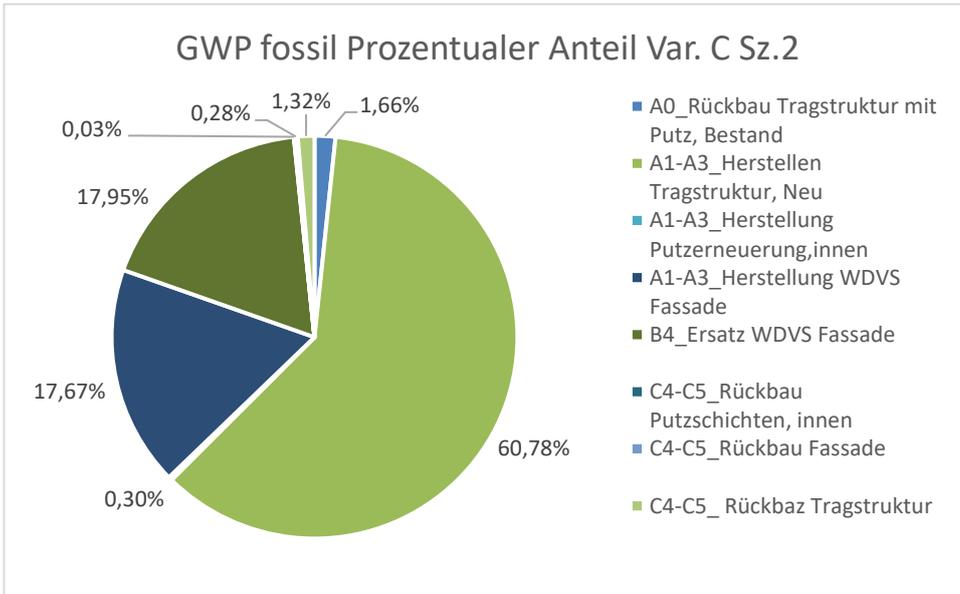
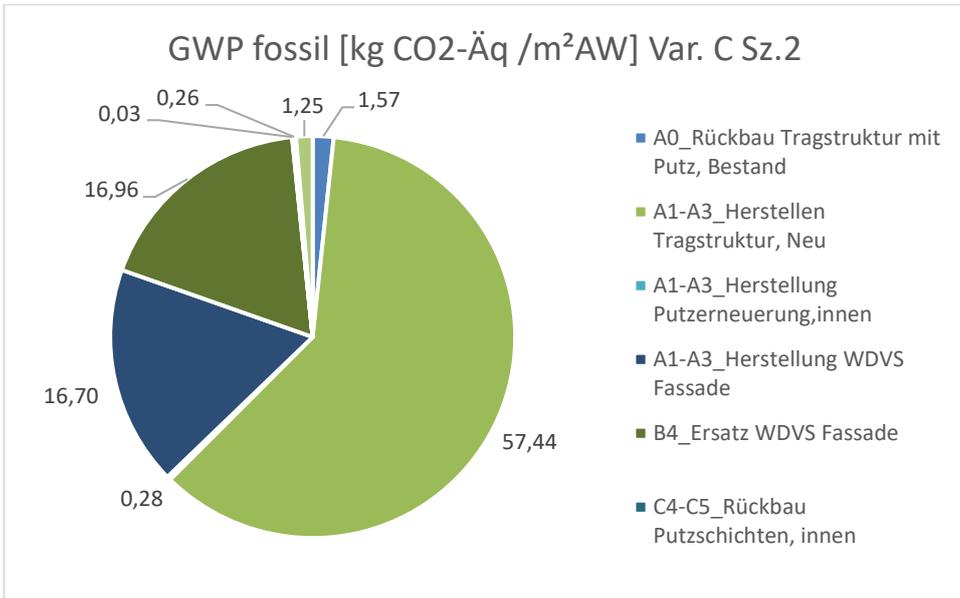
LCC Prozentualer Anteil Variante B Sz.2



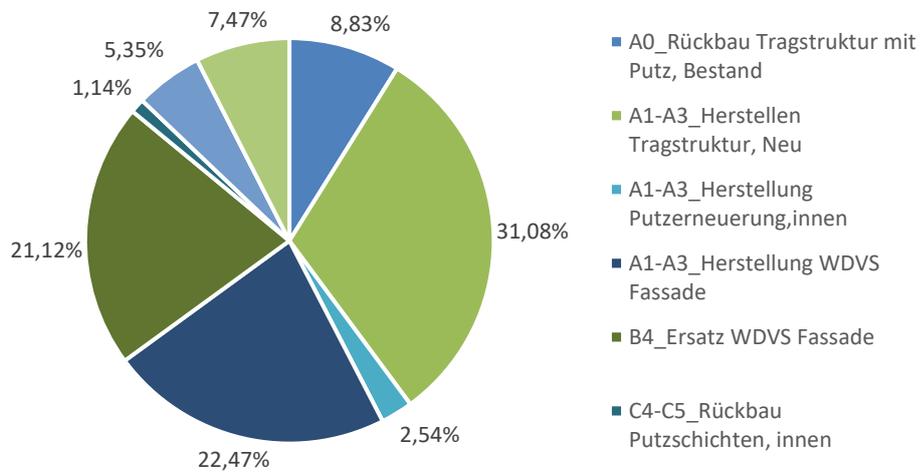
LCC [€/m² AW] Variante B Sz.2



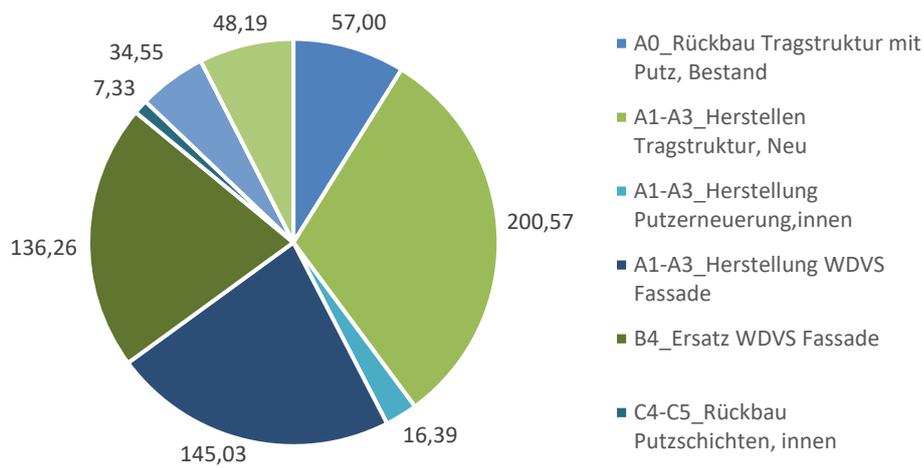
Variante C



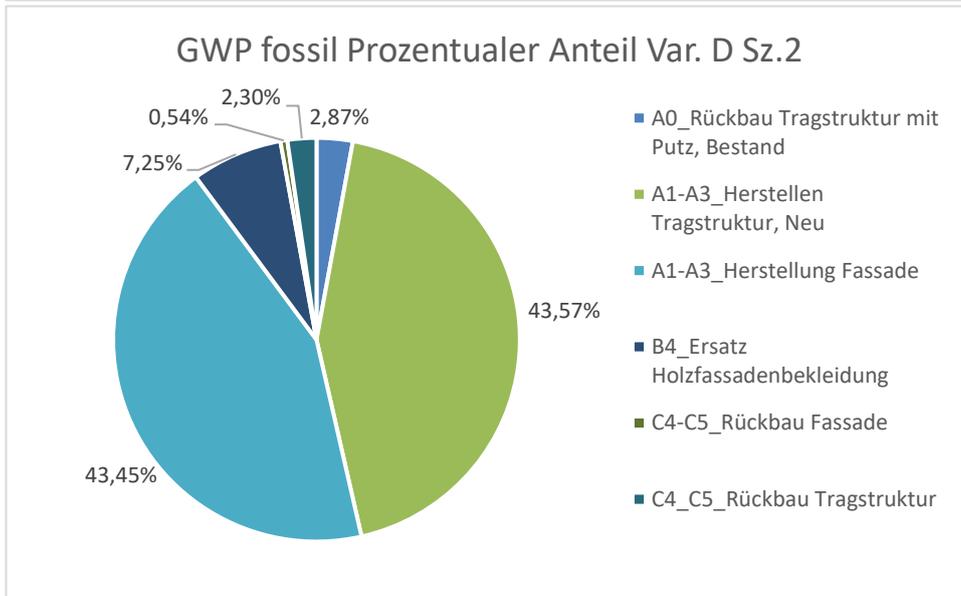
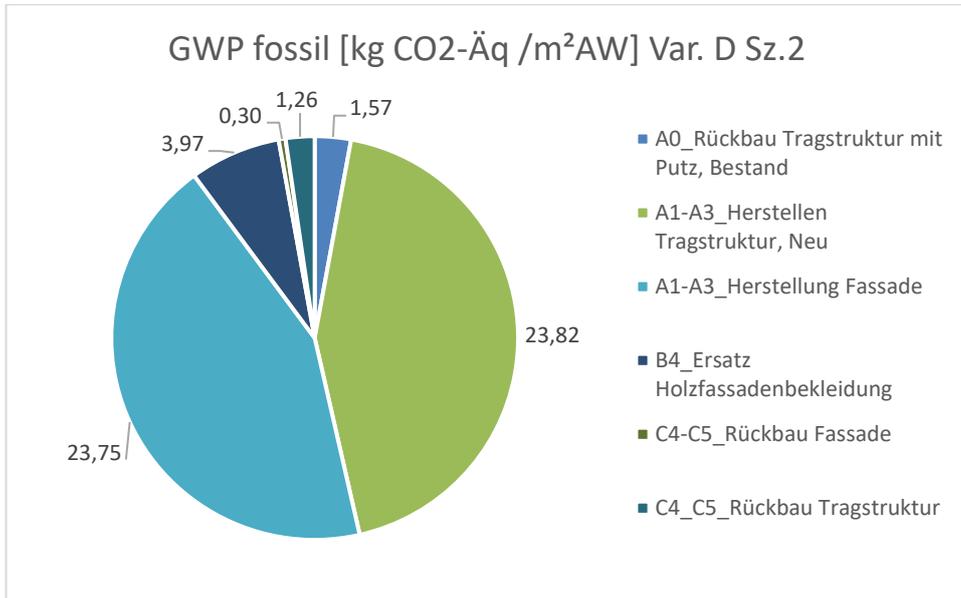
LCC Prozentualer Anteil Variante C Sz.2



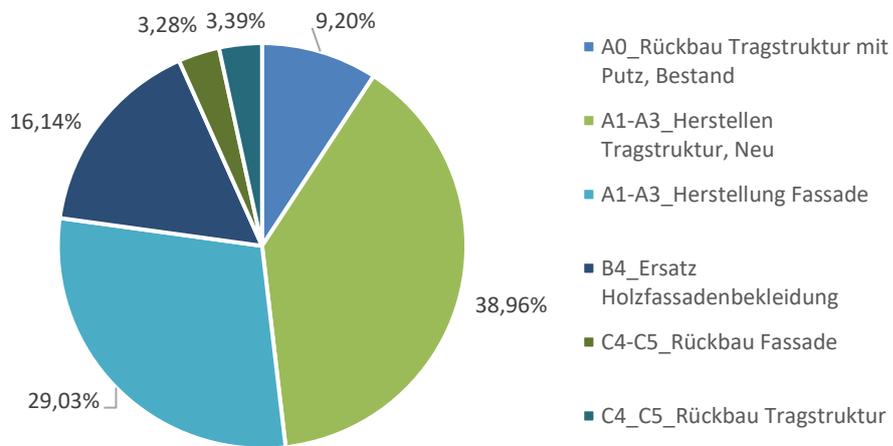
LCC [€/m² AW] Variante C Sz.2



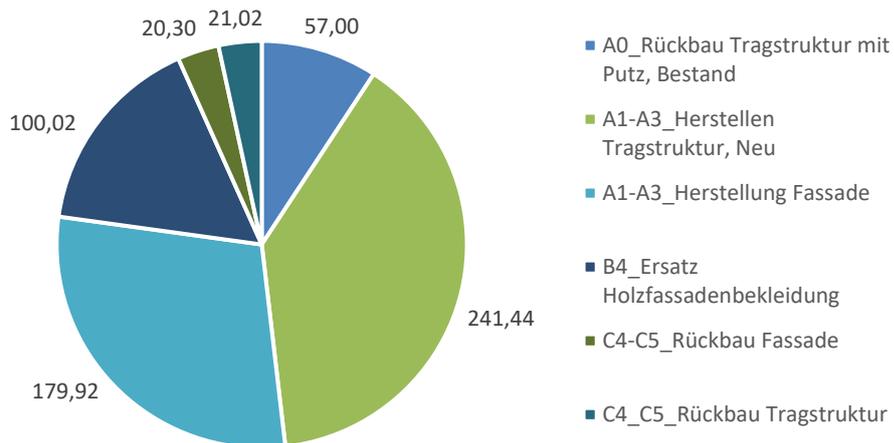
Variante D



LCC Prozentualer Anteil Variante D Sz.2



LCC [€/m² AW] Variante D Sz.2



Anhang A10: ökologische Kennwerte gemäß One Click LCA Ausgabe

Variante A

Abschnitt	Ressource	Benutzer- eingabe	Einheit	Erderwärmungspo- tenzial fossil kg CO ₂ e
A1-A3	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	5,97	m3	777,17
A1-A3	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m3	3417,04
A1-A3	Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m3 (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie)	50,01	m3	5651,13
A1-A3	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	52,62	m3	9524,22
A1-A3	Mineralwolle (Fassaden-Dämmung), 46.25 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2021	73,43	m3	5083,68
A1-A3	Faserzementplatte (Fassade), 1300 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	458,96	m2	3839,43
A1-A3	Aluminium Profil, 2700 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	644,78	kg	6894,73
A1-A3	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	4209,88	kg	2565,71
A1-A3				37753,11
A4	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	5,97	m3	22,63
A4	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m3	65,96
A4	Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m3 (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie)	50,01	m3	110,11
A4	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	52,62	m3	985,05
A4	Mineralwolle (Fassaden-Dämmung), 46.25 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2021	73,43	m3	7,8
A4	Faserzementplatte (Fassade), 1300 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	458,96	m2	1,05
A4	Aluminium Profil, 2700 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	644,78	kg	11,6

Anhang

A4	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	4209,88	kg	59,65
A4				1263,86
A5	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	5,97	m3	103,97
A5	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m3	452,79
A5	Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m3 (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie)	50,01	m3	288,06
A5	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	52,62	m3	420,37
A5	Mineralwolle (Fassaden- Dämmung), 46.25 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2021	73,43	m3	420,51
A5	Faserzementplatte (Fassade), 1300 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	458,96	m2	198,16
A5	Aluminium Profil, 2700 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	644,78	kg	519,93
A5	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	4209,88	kg	127,33
A5				2531,12
B3	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	5,97	m3	0
B3	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m3	0
B3	Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m3 (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie)	50,01	m3	0
B3	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	52,62	m3	0
B3	Mineralwolle (Fassaden- Dämmung), 46.25 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2021	73,43	m3	0
B3	Faserzementplatte (Fassade), 1300 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	458,96	m2	0
B3	Aluminium Profil, 2700 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	644,78	kg	0
B3	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	4209,88	kg	0
B3				
C2	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	5,97	m3	21,59

C2	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m ³ , EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m ³	69,23
C2	Mineralwolle (Fassaden-Dämmung), 46.25 kg/m ³ , EN15804+A2, ref. year 2021	73,43	m ³	11,09
C2	Faserzementplatte (Fassade), 1300 kg/m ³ , EN15804+A2, ref. year 2022	458,96	m ²	23,98
C2	Aluminium Profil, 2700 kg/m ³ , EN15804+A2, ref. year 2022	644,78	kg	24,69
C2				150,58
C3	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	5,97	m ³	0
C3	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m ³ , EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m ³	0
C3	Mineralwolle (Fassaden-Dämmung), 46.25 kg/m ³ , EN15804+A2, ref. year 2021	73,43	m ³	96,48
C3	Faserzementplatte (Fassade), 1300 kg/m ³ , EN15804+A2, ref. year 2022	458,96	m ²	0
C3	Aluminium Profil, 2700 kg/m ³ , EN15804+A2, ref. year 2022	644,78	kg	1,35
C3				97,83
C3-biogenic	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	5,97	m ³	
C3-biogenic	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m ³ , EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m ³	
C3-biogenic	Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m ³ (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie)	50,01	m ³	
C3-biogenic	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m ³ (InformationsZentrum Beton GmbH)	52,62	m ³	
C3-biogenic	Mineralwolle (Fassaden-Dämmung), 46.25 kg/m ³ , EN15804+A2, ref. year 2021	73,43	m ³	
C3-biogenic	Faserzementplatte (Fassade), 1300 kg/m ³ , EN15804+A2, ref. year 2022	458,96	m ²	
C3-biogenic	Aluminium Profil, 2700 kg/m ³ , EN15804+A2, ref. year 2022	644,78	kg	
C3-biogenic	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	4209,88	kg	
C3-biogenic				
C4	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	5,97	m ³	88,87

Anhang

C4	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m3	284,92
C4	Mineralwolle (Fassaden-Dämmung), 46.25 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2021	73,43	m3	57,3
C4	Faserzementplatte (Fassade), 1300 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	458,96	m2	98,69
C4				155,98
D	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	5,97	m3	
D	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m3	
D	Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m3 (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie)	50,01	m3	
D	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	52,62	m3	
D	Mineralwolle (Fassaden-Dämmung), 46.25 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2021	73,43	m3	0
D	Faserzementplatte (Fassade), 1300 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	458,96	m2	0
D	Aluminium Profil, 2700 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	644,78	kg	-5751,87
D	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	4209,88	kg	
D				
			kg	42386,67

Variante B

Abschnitt	Ressource	Benutzer- eingabe	Einheit	Erderwärmungspotenzial fossil kg CO ₂ e
A1-A3	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	4,97	m3	646,99
A1-A3	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m3	3417,04
A1-A3	Lehmputz, 900 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,95	m3	922,72
A1-A3	Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10.7% H2O), 481.6 kg/m3, 12% moisture content, EN15804+A2, ref. year 2021	11,41	m3	1186,53
A1-A3	Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10.7% H2O), 481.6 kg/m3, 12% moisture content, EN15804+A2, ref. year 2021	16,52	m3	1717,92
A1-A3	Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m3 (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie)	50,01	m3	5651,13
A1-A3	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	52,62	m3	9524,22
A1-A3	Wood fibers insulation, blown, L=0.039-0.041 W/mK, 25-45 kg/m3, Lambda=0.04 W/(m.K) (Holzwerk Gebr. Schneider GmbH)	73,43	m3	711,9
A1-A3	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	4209,88	kg	2565,71
A1-A3				26344,16
A4	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	4,97	m3	18,84
A4	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m3	65,96
A4	Lehmputz, 900 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,95	m3	37,72
A4	Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10.7% H2O), 481.6 kg/m3, 12% moisture content, EN15804+A2, ref. year 2021	11,41	m3	46,29
A4	Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10.7% H2O), 481.6 kg/m3, 12% moisture	16,52	m3	67,02

Anhang

	content, EN15804+A2, ref. year 2021			
A4	Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m3 (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie)	50,01	m3	110,11
A4	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	52,62	m3	985,05
A4	Wood fibers insulation, blown, L=0.039-0.041 W/mK, 25-45 kg/m3, Lambda=0.04 W/(m.K) (Holzwerk Gebr. Schneider GmbH)	73,43	m3	34,44
A4	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	4209,88	kg	59,65
A4				1425,09
A5	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	4,97	m3	98,51
A5	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m3	498,83
A5	Lehmputz, 900 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,95	m3	132,6
A5	Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10.7% H2O), 481.6 kg/m3, 12% moisture content, EN15804+A2, ref. year 2021	11,41	m3	237,09
A5	Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10.7% H2O), 481.6 kg/m3, 12% moisture content, EN15804+A2, ref. year 2021	16,52	m3	343,27
A5	Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m3 (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie)	50,01	m3	296,28
A5	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	52,62	m3	459,5
A5	Wood fibers insulation, blown, L=0.039-0.041 W/mK, 25-45 kg/m3, Lambda=0.04 W/(m.K) (Holzwerk Gebr. Schneider GmbH)	73,43	m3	74,26
A5	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	4209,88	kg	128,12
A5				2268,45

B3	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	4,97	m3	0
B3	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m3	0
B3	Lehmputz, 900 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,95	m3	0
B3	Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10.7% H2O), 481.6 kg/m3, 12% moisture content, EN15804+A2, ref. year 2021	11,41	m3	0
B3	Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10.7% H2O), 481.6 kg/m3, 12% moisture content, EN15804+A2, ref. year 2021	16,52	m3	0
B3	Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m3 (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie)	50,01	m3	0
B3	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	52,62	m3	0
B3	Wood fibers insulation, blown, L=0.039-0.041 W/mK, 25-45 kg/m3, Lambda=0.04 W/(m.K) (Holzwerk Gebr. Schneider GmbH)	73,43	m3	0
B3	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	4209,88	kg	0
B3				
B4-B5	Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10.7% H2O), 481.6 kg/m3, 12% moisture content, EN15804+A2, ref. year 2021	16,52	m3	1820,21
C2	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	4,97	m3	17,98
C2	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m3	69,23
C2	Lehmputz, 900 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,95	m3	31,71
C2	Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10.7% H2O), 481.6 kg/m3, 12% moisture content, EN15804+A2, ref. year 2021	11,41	m3	21,04

Anhang

C2	Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10.7% H2O), 481.6 kg/m3, 12% moisture content, EN15804+A2, ref. year 2021	16,52	m3	30,47
C2	Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m3 (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie)	50,01	m3	46,91
C2	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	52,62	m3	541,99
C2	Wood fibers insulation, blown, L=0.039-0.041 W/mK, 25-45 kg/m3, Lambda=0.04 W/(m.K) (Holzwerk Gebr. Schneider GmbH)	73,43	m3	113,34
C2	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	4209,88	kg	14,91
C2				887,56
C3	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	4,97	m3	0
C3	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m3	0
C3	Lehmputz, 900 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,95	m3	27,83
C3	Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10.7% H2O), 481.6 kg/m3, 12% moisture content, EN15804+A2, ref. year 2021	11,41	m3	70,65
C3	Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10.7% H2O), 481.6 kg/m3, 12% moisture content, EN15804+A2, ref. year 2021	16,52	m3	102,29
C3	Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m3 (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie)	50,01	m3	72,01
C3	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	52,62	m3	262,57
C3	Wood fibers insulation, blown, L=0.039-0.041 W/mK, 25-45 kg/m3, Lambda=0.04 W/(m.K) (Holzwerk Gebr. Schneider GmbH)	73,43	m3	68,62
C3	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	4209,88	kg	0

C3				603,99
C3-biogenic	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	4,97	m3	
C3-biogenic	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m3	
C3-biogenic	Lehmputz, 900 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,95	m3	
C3-biogenic	Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10.7% H2O), 481.6 kg/m3, 12% moisture content, EN15804+A2, ref. year 2021	11,41	m3	
C3-biogenic	Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10.7% H2O), 481.6 kg/m3, 12% moisture content, EN15804+A2, ref. year 2021	16,52	m3	
C3-biogenic	Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m3 (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie)	50,01	m3	
C3-biogenic	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	52,62	m3	
C3-biogenic	Wood fibers insulation, blown, L=0.039-0.041 W/mK, 25-45 kg/m3, Lambda=0.04 W/(m.K) (Holzwerk Gebr. Schneider GmbH)	73,43	m3	
C3-biogenic	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	4209,88	kg	
C3- biogenic				
C4	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	4,97	m3	73,98
C4	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m3	284,92
C4	Lehmputz, 900 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,95	m3	0
C4	Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m3 (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie)	50,01	m3	27,06
C4	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	52,62	m3	0
C4	Wood fibers insulation, blown, L=0.039-0.041 W/mK, 25-45 kg/m3, Lambda=0.04	73,43	m3	0

Anhang

	W/(m.K) (Holzwerk Gebr. Schneider GmbH)			
C4	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	4209,88	kg	0
C4				385,96
D	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	4,97	m3	0
D	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m3	0
D	Lehmputz, 900 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,95	m3	-12,62
D	Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10.7% H2O), 481.6 kg/m3, 12% moisture content, EN15804+A2, ref. year 2021	11,41	m3	-3983,58
D	Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10.7% H2O), 481.6 kg/m3, 12% moisture content, EN15804+A2, ref. year 2021	16,52	m3	-10659,61
D	Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m3 (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie)	50,01	m3	-76,14
D	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	52,62	m3	-656,7
D	Wood fibers insulation, blown, L=0.039-0.041 W/mK, 25-45 kg/m3, Lambda=0.04 W/(m.K) (Holzwerk Gebr. Schneider GmbH)	73,43	m3	-1651,51
D	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	4209,88	kg	638,46
D				
				33832,91

Variante C

Abschnitt	Ressource	Benutzer- eingabe	Einheit	Erderwärmungspotenzial fossil kg CO ₂ e
A1-A3	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	0,99	m3	128,88
A1-A3	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	3,67	m3	1310,4
A1-A3	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	4,97	m3	646,99
A1-A3	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m3	3417,04
A1-A3	Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m3 (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie)	50,01	m3	5651,13
A1-A3	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	52,62	m3	9524,22
A1-A3	Mineralwolle (Fassaden- Dämmung), 46.25 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2021	91,79	m3	6354,78
A1-A3	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	114,74	m3	20767,94
A1-A3	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	4209,88	kg	2565,71
A1-A3	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	9179,28	kg	5594,3
A1-A3				55961,38
A4	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	0,99	m3	3,75
A4	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	3,67	m3	25,3
A4	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	4,97	m3	18,84
A4	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m3	65,96
A4	Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m3 (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie)	50,01	m3	110,11
A4	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	52,62	m3	985,05
A4	Mineralwolle (Fassaden- Dämmung), 46.25 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2021	91,79	m3	9,75
A4	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3	114,74	m3	2147,93

Anhang

	(InformationsZentrum Beton GmbH)			
A4	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	4209,88	kg	59,65
A4	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	9179,28	kg	130,05
A4				3556,4
A5	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	0,99	m3	19,62
A5	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	3,67	m3	191,3
A5	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	4,97	m3	98,51
A5	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m3	498,83
A5	Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m3 (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie)	50,01	m3	296,28
A5	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	52,62	m3	459,5
A5	Mineralwolle (Fassaden-Dämmung), 46.25 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2021	91,79	m3	511,04
A5	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	114,74	m3	1001,96
A5	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	4209,88	kg	128,12
A5	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	9179,28	kg	279,35
A5				3484,5
B3	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	0,99	m3	0
B3	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	3,67	m3	0
B3	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	4,97	m3	0
B3	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m3	0
B3	Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m3 (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie)	50,01	m3	0
B3	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	52,62	m3	0

B3	Mineralwolle (Fassaden-Dämmung), 46.25 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2021	91,79	m3	0
B3	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	114,74	m3	0
B3	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	4209,88	kg	0
B3	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	9179,28	kg	0
B3				
B4-B5	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	3,67	m3	1419,66
B4-B5	Mineralwolle (Fassaden-Dämmung), 46.25 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2021	91,79	m3	6365,82
B4-B5				7785,48
C2	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	0,99	m3	3,58
C2	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	3,67	m3	26,55
C2	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	4,97	m3	17,98
C2	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m3	69,23
C2	Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m3 (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie)	50,01	m3	46,91
C2	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	52,62	m3	541,99
C2	Mineralwolle (Fassaden-Dämmung), 46.25 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2021	91,79	m3	12,42
C2	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	114,74	m3	1181,82
C2	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	4209,88	kg	14,91
C2	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	9179,28	kg	32,5
C2				1947,88
C3	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	0,99	m3	0

Anhang

C3	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	3,67	m3	0
C3	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	4,97	m3	0
C3	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m3	0
C3	Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m3 (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie)	50,01	m3	72,01
C3	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	52,62	m3	262,57
C3	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	114,74	m3	572,55
C3	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	4209,88	kg	0
C3	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	9179,28	kg	0
C3				907,14
C3-biogenic	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	0,99	m3	
C3-biogenic	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	3,67	m3	
C3-biogenic	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	4,97	m3	
C3-biogenic	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m3	
C3-biogenic	Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m3 (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie)	50,01	m3	
C3-biogenic	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	52,62	m3	
C3-biogenic	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	114,74	m3	
C3-biogenic	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	4209,88	kg	
C3-biogenic	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	9179,28	kg	
C3-biogenic				
C4	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	0,99	m3	14,74

C4	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	3,67	m3	109,26
C4	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	4,97	m3	73,98
C4	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m3	284,92
C4	Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m3 (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie)	50,01	m3	27,06
C4	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	52,62	m3	0
C4	Mineralwolle (Fassaden-Dämmung), 46.25 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2021	91,79	m3	11,04
C4	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	114,74	m3	0
C4	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	4209,88	kg	0
C4	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	9179,28	kg	0
C4				521
C4-biogenic	Mineralwolle (Fassaden-Dämmung), 46.25 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2021	91,79	m3	
D	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	0,99	m3	0
D	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	3,67	m3	0
D	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	4,97	m3	0
D	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m3	0
D	Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m3 (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie)	50,01	m3	-76,14
D	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	52,62	m3	-656,7
D	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	114,74	m3	-1431,96
D	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	4209,88	kg	638,46
D	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	9179,28	kg	1392,11

Anhang

D				
				74237,8

Variante D

Abschnitt	Ressource	Benutzer- eingabe	Einheit	Erderwärmungspotenzial fossil kg CO ₂ e
A1-A3	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	4,97	m3	646,99
A1-A3	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m3	3417,04
A1-A3	Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10.7% H2O), 481.6 kg/m3, 12% moisture content, EN15804+A2, ref. year 2021	16,52	m3	1717,92
A1-A3	Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m3 (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie)	50,01	m3	5651,13
A1-A3	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	52,62	m3	9524,22
A1-A3	Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren), 160 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2021	82,61	m3	9184,04
A1-A3	Brettsperrholz (Durchschnitt DE), 489.41 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2023	91,79	m3	10932,19
A1-A3	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	4209,88	kg	2565,71
A1-A3				43639,23
A4	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	4,97	m3	18,84
A4	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m3	65,96
A4	Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10.7% H2O), 481.6 kg/m3, 12% moisture content, EN15804+A2, ref. year 2021	16,52	m3	67,02
A4	Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m3 (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie)	50,01	m3	110,11
A4	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	52,62	m3	985,05
A4	Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren), 160 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2021	82,61	m3	177,15
A4	Brettsperrholz (Durchschnitt DE), 489.41 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2023	91,79	m3	378,45
A4	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	4209,88	kg	59,65
A4				1862,23
A5	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	4,97	m3	98,51
A5	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m3	498,83
A5	Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10.7% H2O), 481.6 kg/m3, 12% moisture content, EN15804+A2, ref. year 2021	16,52	m3	343,27

Anhang

A5	Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m3 (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie)	50,01	m3	296,28
A5	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	52,62	m3	459,5
A5	Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren), 160 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2021	82,61	m3	754,74
A5	Brettsperrholz (Durchschnitt DE), 489.41 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2023	91,79	m3	2014,06
A5	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	4209,88	kg	128,12
A5				4593,3
B3	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	4,97	m3	0
B3	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m3	0
B3	Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10.7% H2O), 481.6 kg/m3, 12% moisture content, EN15804+A2, ref. year 2021	16,52	m3	0
B3	Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m3 (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie)	50,01	m3	0
B3	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	52,62	m3	0
B3	Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren), 160 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2021	82,61	m3	0
B3	Brettsperrholz (Durchschnitt DE), 489.41 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2023	91,79	m3	0
B3	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	4209,88	kg	0
B3				
B4-B5	Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10.7% H2O), 481.6 kg/m3, 12% moisture content, EN15804+A2, ref. year 2021	16,52	m3	1820,21
C2	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	4,97	m3	17,98
C2	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m3	69,23
C2	Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10.7% H2O), 481.6 kg/m3, 12% moisture content, EN15804+A2, ref. year 2021	16,52	m3	30,47
C2	Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m3 (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie)	50,01	m3	46,91
C2	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	52,62	m3	541,99
C2	Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren), 160 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2021	82,61	m3	38,68

C2	Brettsperrholz (Durchschnitt DE), 489.41 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2023	91,79	m3	172,02
C2	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	4209,88	kg	14,91
C2				932,17
C3	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	4,97	m3	0
C3	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m3	0
C3	Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10.7% H2O), 481.6 kg/m3, 12% moisture content, EN15804+A2, ref. year 2021	16,52	m3	102,29
C3	Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m3 (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie)	50,01	m3	72,01
C3	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	52,62	m3	262,57
C3	Brettsperrholz (Durchschnitt DE), 489.41 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2023	91,79	m3	577,58
C3	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	4209,88	kg	0
C3				1014,46
C3-biogenic	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	4,97	m3	
C3-biogenic	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m3	
C3-biogenic	Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10.7% H2O), 481.6 kg/m3, 12% moisture content, EN15804+A2, ref. year 2021	16,52	m3	
C3-biogenic	Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m3 (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie)	50,01	m3	
C3-biogenic	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	52,62	m3	
C3-biogenic	Brettsperrholz (Durchschnitt DE), 489.41 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2023	91,79	m3	
C3-biogenic	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	4209,88	kg	
C3-biogenic				
C4	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	4,97	m3	73,98
C4	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m3	284,92
C4	Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m3 (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie)	50,01	m3	27,06
C4	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	52,62	m3	0

Anhang

C4	Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren), 160 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2021	82,61	m3	34,37
C4	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	4209,88	kg	0
C4				420,32
C4- biogenic	Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren), 160 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2021	82,61	m3	
D	Gips Kalk Putz, EN15804+A2, ref. year 2022	4,97	m3	0
D	Kalkzement Putzmörtel, 1800 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2022	9,57	m3	0
D	Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10.7% H2O), 481.6 kg/m3, 12% moisture content, EN15804+A2, ref. year 2021	16,52	m3	-10659,61
D	Mauerziegel (ungefüllt), 575 kg/m3 (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie)	50,01	m3	-76,14
D	unbewehrter Konstruktionsbeton (C25/30), C25/30, 2400 kg/m3 (InformationsZentrum Beton GmbH)	52,62	m3	-656,7
D	Brettsperrholz (Durchschnitt DE), 489.41 kg/m3, EN15804+A2, ref. year 2023	91,79	m3	-32234,93
D	Bewehrungsstahl, EN15804+A2, ref. year 2022	4209,88	kg	638,46
D				
				54379,42