

# Emissionsfreier Gebäudesektor

Endbericht

# Impressum

## **Technische Universität München**

TUM School of Engineering and Design

Department of Civil and Environmental Engineering

Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen (ENPB)

Arcisstraße 21

80333 München

## **Autor:innen**

Kathrin Theilig, M.Sc.

Prof. Dr.-Ing. Werner Lang

## **Projektzeitraum**

Februar 2021 – April 2022

## **Förderung**

Das Forschungsprojekt sowie der Endbericht zum Projekt wurden finanziert durch das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (Vorhaben TEW01CO2P-77241 „Emissionsfreier Gebäudesektor“).



finanziert durch  
Bayerisches Staatsministerium für  
Umwelt und Verbraucherschutz



München, Juni 2022

# Inhaltsverzeichnis

Kurzzusammenfassung .....	5
Abkürzungsverzeichnis .....	6
1. Einführung.....	8
1.1. Projektziel.....	9
1.2. Aufbau des Forschungsprojekts .....	9
2. Ausgangssituation .....	11
2.1. Stand der Forschung .....	11
2.2. Aufgabenstellung.....	12
3. Methodisches Vorgehen.....	13
3.1. Literaturrecherche .....	13
3.2. Systematische Auswertung.....	14
3.3. Systemgrenzen.....	15
4. Definition von Emissionen und Emissionsfreiheit.....	16
5. Emissionen im Gebäudesektor .....	17
5.1. Globale Emissionen.....	17
5.2. Lokale Emissionen .....	18
5.2.1. Wasser und Boden .....	18
5.2.2. Luft .....	18
5.3. Emissionen im Inneren des Gebäudes .....	19
5.4. Übersicht stofflicher Emissionen .....	20
5.5. Emissionen im Gebäudelebenszyklus .....	26
6. Ermittlung und Bewertung von Emissionen .....	28
6.1. Rechtlicher Rahmen .....	28
6.1.1. Treibhausgase (THG) und weitere Umweltwirkungen .....	28
6.1.2. Schadstoffe .....	29
6.1.3. Schall .....	31
6.1.4. Licht.....	33
6.1.5. Radon.....	33
6.1.6. Übersicht der rechtlichen Rahmenbedingungen von Emissionen .....	34
6.2. Kosten von Emissionen .....	36
6.3. Ermittlung von Emissionen .....	39
6.3.1. Umweltwirkungen .....	39
6.3.2. Emissionen aus Baumaterialien und Bauprodukten.....	43
6.3.3. Schall .....	44
6.3.4. Licht.....	44

6.3.5. Radon.....	45
6.4. Methoden zur Ermittlung von Emissionen .....	45
6.5. Bewertung der Emissionen .....	48
6.6. Zusammenfassung .....	49
7. Emissionsfreiheit.....	50
7.1. Vermeidung von Emissionen .....	50
7.2. Reduktion und Kompensation von Emissionen .....	53
7.3. Zusammenfassung .....	57
8. Anwendung eines Fallbeispiels.....	58
8.1. Beschreibung des Objekts .....	58
8.2. Grundlagen.....	59
8.3. Emissionen des Fallbeispiels .....	60
8.3.1. Treibhausgas-Emissionen und weitere Umweltwirkungen .....	60
8.3.2. Schadstoffe.....	65
8.3.3. Schall.....	65
8.3.4. Licht.....	66
8.3.5. Strahlung .....	66
8.3.6. Übersicht der Emissionen im Lebenszyklus .....	67
8.4. Empfehlungen zur Emissionsminderung .....	68
8.5. Zusammenfassung .....	72
9. Fazit.....	74
9.1. Zusammenfassung der Erkenntnisse .....	74
9.2. Handlungshinweise für emissionsfreies Bauen .....	75
9.3. Weiterer Forschungsbedarf.....	77
10. Publikationen .....	79
Literatur.....	80
Abbildungsverzeichnis .....	92
Tabellenverzeichnis .....	93
Anhang .....	94

# Kurzzusammenfassung

Der Bausektor stellt einen der größten Ressourcenverbraucher und Verursacher von Emissionen dar: Weltweit werden 38 % aller energiebezogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen in diesem Bereich verursacht und 55 % des Stromverbrauchs ist auf den Betrieb von Gebäuden zurückzuführen. [1] Um die internationalen und nationalen Klimaziele zu erreichen, spielt der Bausektor und damit jedes einzelne Gebäude eine wesentliche Rolle im Transformationsprozess hin zu Klimaneutralität. Im Hinblick auf Umweltschutz und menschliche Gesundheit sind neben Treibhausgas (THG)-Emissionen auch weitere Umweltwirkungen und Emissionen, wie zum Beispiel Schadstoffe, Schall, Licht und Strahlung, relevant.

Im Forschungsprojekt „Emissionsfreier Gebäudesektor“ wurden mittels systematischer Literaturrecherche und -auswertung mehr als 70 Emissionen im Lebenszyklus eines Gebäudes identifiziert, hinsichtlich ihrer Wirkungsebene gruppiert (global, lokal, innerhalb des Gebäudes) und sechs Emissionsarten (THG, weitere Umweltwirkungen, Schadstoffe, Schall, Licht, Strahlung) zugeordnet. Zudem wurden Kosten von Emissionen (Umweltkosten) und rechtliche Rahmenbedingungen für die verschiedenen Emissionsarten dargestellt. Darüber hinaus wurden bestehende Verfahren zur Ermittlung und Bewertung von Gebäudeemissionen aufgezeigt und verschiedene Strategien – in der Reihenfolge Vermeiden, Reduzieren, Kompensieren – und Handlungsempfehlungen zur Realisierung emissionsfreier Gebäude abgeleitet.

Ein wesentlicher Bestandteil des Forschungsprojekts war die Entwicklung eines methodischen Vorgehens für die lebenszyklusbasierte Bewertung von Gebäudeemissionen und deren Erprobung an einem Fallbeispiel. Dabei wurden dem Gebäude zunächst die identifizierten Emissionsgruppen (siehe Kapitel 5) zugeordnet und den einzelnen Lebenszyklusphasen nach DIN EN 15978 „Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der Umweltverträglichkeit von Gebäuden“ [2] gegenübergestellt. Wo möglich, wurden die einzelnen Emissionen mit bestehenden Grenzwerten oder Empfehlungen zum Schutz von Klima, Umwelt und menschlicher Gesundheit verglichen. Davon ausgehend wurden die Ergebnisse analysiert und hinsichtlich ihrer Vermeidungs-, Reduktions- und Kompensationspotenziale ausgewertet.

Das vorliegende Forschungsprojekt zeigt, dass Emissionen in jeder Lebenszyklusphase eines Gebäudes auftreten können. Die Fokussierung auf einzelne Lebenszyklusphasen kann dabei helfen, die jeweiligen Potenziale zur Vermeidung, Reduktion und Kompensation von Emissionen zu identifizieren. Für die Realisierung emissionsfreier Gebäude ist die lebenszyklusbasierte Identifikation bereits in frühen Planungsphasen notwendig, da auf bereits verursachte Emissionen zu einem späteren Zeitpunkt nur begrenzt reagiert werden kann. Dabei werden im Hinblick auf Klima- und Umweltschutz die Themen Suffizienz (geringerer Ressourcenverbrauch) und Konsistenz (Einsatz naturverträglicher Technologien, die Ökosysteme nicht zerstören) immer wichtiger und sollten Bestandteil jeder Planung werden.

## Abkürzungsverzeichnis

AP	Versauerungspotenzial von Boden und Wasser (en: acidification potential of soil and water)
Äqv.	Äquivalente
BIPV	Bauwerkintegrierte Photovoltaik (en: building-integrated photovoltaics)
CH <sub>4</sub>	Methan
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
DDT	Dichlordiphenyltrichlorethan ( <i>Biozid</i> )
ETS	Emissionshandelssystem (en: Emission Trading System)
EP	Eutrophierungspotenzial (en: eutrophication potential)
EPS	Expandiertes Polystyrol ( <i>Dämmstoff</i> )
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
F-Gase	Fluorierte Treibhausgase
GWP	Treibhauspotenzial (en: global warming potential)
HBDC	Hexabromcyclododekan ( <i>Flammschutzmittel</i> )
HFCKW	Teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change, „Weltklimarat“
LCA	Ökobilanz (en: life cycle assessment)
N <sub>2</sub> O	Lachgas
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
NMVOG	Flüchtige organische Verbindungen ohne Methan
NO	Stickstoffmonoxid
NO <sub>2</sub>	Stickstoffdioxid
NO <sub>x</sub>	Stickstoffoxide, kurz: Stickoxide
ODP	Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht (en: depletion potential of the stratospheric ozone layer)
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCP	Pentachlorphenol ( <i>chemischer Holzschutz</i> )
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Phosphat
POCP	Potenzial für die Bildung von troposphärischem Ozon (en: formation potential of tropospheric ozone)
PV	Photovoltaik

R11	oder CFC-11: Trichlorfluormethan, chemische Formel: CCl <sub>3</sub> F
SCCP	Kurzkettige Chlorparaffine (en: short chained chlorinated paraffins)
SDGs	Ziele für nachhaltige Entwicklung (en: Sustainable Development Goals)
SO <sub>2</sub>	Schwefeldioxid
SVOC	Schwerflüchtige organische Verbindungen (en: semivolatile organic compounds)
TCEP	Tris(2-chlorethyl)phosphat ( <i>Flammschutzmittel</i> )
THG	Treibhausgas(e)
TVOC	Gesamtheit der flüchtigen organischen Verbindungen in der Raumluft (en: total volatile organic compounds)
VOC	Flüchtige organische Verbindungen (en: volatile organic compounds)
XPS	Extrudiertes Polystyrol ( <i>Dämmstoff</i> )

# 1. Einführung

Der Anstieg von Treibhausgas-Konzentrationen in der Atmosphäre und die damit einhergehende globale Erwärmung seit dem vorindustriellen Zeitalter<sup>1</sup> sind vom Menschen verursacht. Der voranschreitende Klimawandel wirkt sich bereits heute auf viele Wetter- und Klimaextreme wie Hitzewellen, Starkniederschläge, Dürren und tropische Wirbelstürme in allen Regionen der Erde aus. [3] Zur Bekämpfung des Klimawandels und weiterer globaler Herausforderungen wurden von den Vereinten Nationen (UN) in der *Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung* 17 Nachhaltigkeitsziele (Sustainable Development Goals – SDGs) verabschiedet [4]; die Bayerische Staatsregierung hat diese in ihrer Nachhaltigkeitsstrategie verankert [5]. Das Bayerische Umweltministerium hat zudem bereits 1998 mit den *Umweltindikatoren Bayern* ein Zeichen in der Umsetzung eines modernen Instruments für Umweltschutz und nachhaltiger Entwicklung im 21. Jahrhundert gesetzt [6]. Themen wie Klima und Energie, Natur und Landschaft, Umwelt und Gesundheit sowie Ressourcen und Effizienz stehen dabei im Mittelpunkt [7].

Die dringend notwendige Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft hin zu Klimaneutralität wird auf europäischer Ebene durch den im Juli 2019 vorgestellten *Europäischen Grünen Deal* (en: European Green Deal) der EU-Kommission vorangetrieben. Die Betrachtung von klima- und umweltpolitischen Herausforderungen soll damit zur Chance für eine zukunftsorientierte Ausrichtung der europäischen Gemeinschaft werden. Der hierzu vorgestellte Aktionsplan dient der Förderung einer effizienten Ressourcennutzung durch den Übergang zu einer sauberen und kreislaforientierten Wirtschaft, der Wiederherstellung der Biodiversität und der Bekämpfung von Umweltverschmutzung. [8]

Da der Bausektor einen der größten Ressourcenverbraucher und Verursacher von Emissionen darstellt [1, 9], kommt ihm eine wesentliche Rolle in diesem Transformationsprozess zu. Insbesondere die beim Bau und dem Betrieb von Gebäuden entstehenden Emissionen sind für mehrere Maßnahmenpläne des Green Deals von Bedeutung [10]:

- Klimaambitionen, zum Beispiel „Klimaneutralität bis 2050“ und „EU-Strategie zur Anpassung an den Klimawandel“
- Erhaltung und Schutz der Biodiversität
- Null-Schadstoff-Ziel für eine schadstofffreie Umwelt
- Saubere, erschwingliche und sichere Energie

Um diese Ziele zu erreichen, sind mögliche auftretende Emissionen im Gebäudesektor zu vermeiden und zu reduzieren.

---

<sup>1</sup> Gemäß [3] liegen seit 1850-1900 ausreichend vollständige Beobachtungen zur Abschätzung der globalen Oberflächentemperatur vor; dieser Zeitraum wird daher als Näherungswert von vorindustriellen Bedingungen verwendet.



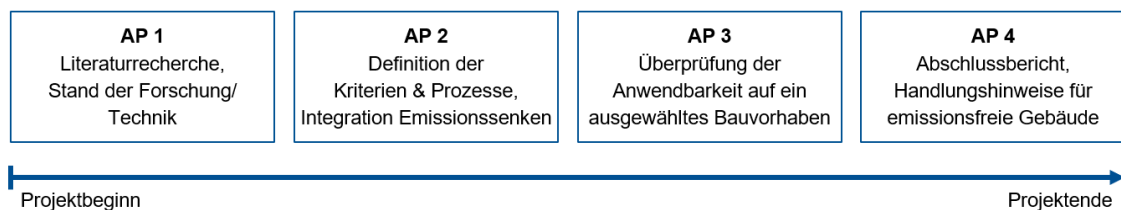
## 1.1. Projektziel

Im vorliegenden Forschungsprojekt wird untersucht, ob und in welcher Form emissionsfreie Gebäude unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus entwickelt und umgesetzt werden können. Hierfür wird basierend auf einer systematischen Literaturrecherche ein methodisches Vorgehen zur lebenszyklusbasierten Identifikation und Bewertung von gebäuderelevanten Emissionen entwickelt. Anhand eines ausgewählten Bauvorhabens wird deren Anwendbarkeit in der Praxis überprüft.

Akteur:innen aus Politik und Planung sollen damit unterstützt werden, entsprechende Zusammenhänge und mögliche Emissionen bereits in frühen Planungsphasen zu erkennen, zu bewerten und zu beeinflussen, damit der Transformationsprozess hin zu einer emissionsfreien (Bau-)Wirtschaft gelingt.

## 1.2. Aufbau des Forschungsprojekts

Das Forschungsprojekt gliedert sich in vier Arbeitspakete (AP), vgl. Abbildung 1.



**Abbildung 1. Arbeitspakete des Forschungsprojekts (eigene Darstellung)**

Die Grundlage für das Forschungsprojekt stellen eine umfassende Literaturrecherche zu Emissionen im Bausektor und die systematische Aufbereitung des Forschungsstandes dar (AP 1). Das methodische Vorgehen hierfür wird in Kapitel 3 näher beschrieben.

Im Rahmen von AP 2 werden darauf aufbauend Kriterien zur Bewertung der Gebäudeemissionen abgeleitet sowie die maßgeblichen Prozesse im Lebenszyklus und die Integrierbarkeit von Emissionssenkten dargestellt.

Als zu untersuchendes Bauvorhaben für AP 3 wurde auf Vorschlag des Lehrstuhls ENBP und in Abstimmung mit dem Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz das Gebäude „NAWAREUM“ in Straubing ausgewählt. Dabei handelt es sich um einen Neubau des Staatlichen Bauamts Passau, welcher vom Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe als Informations- und Erlebnisort für Nachwachsende Rohstoffe und Erneuerbare Energien betrieben wird.

Das AP 4 umfasst die Erstellung des Abschlussberichts mit Darstellung der Möglichkeiten und Vorgehensweisen zur Erreichung emissionsfreier Gebäude. Dabei wird auch der Zusammenhang zu den Transformationsprozessen des Green Deals dargestellt und weitergehende Forschungsfragen formuliert.

Zusätzlich zu den definierten Arbeitspaketen wurden Expert:innen-Interviews mit Vertreter:innen von Fachbehörden (Bayrisches Landesamt für Umwelt, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, Landeshauptstadt München) sowie der Bayerischen Architektenkammer geführt. Die Gespräche dienten dem Austausch zu den Ergebnissen der Literaturrecherche zu Emissionen und deren lebenszyklusbasierter Betrachtung. Zudem dienten die Fachgespräche zur Entwicklung einer entsprechenden Definition von Kriterien und deren Bedeutung im Hinblick auf den Gebäudesektor.

## 2. Ausgangssituation

### 2.1. Stand der Forschung

Um die globalen Herausforderungen wie Klimawandel, Umweltverschmutzung, Artensterben, Abfallaufkommen und soziale Konflikte bewältigen zu können, ist eine wirtschaftliche und gesellschaftliche Transformation erforderlich. Für eine lebenswerte Zukunft für Mensch und Natur ist ein Wandel hin zu einer klimaneutralen und kreislauffähigen Wirtschaft und Gesellschaft notwendig. [4, 10]

Der Gebäudesektor verursachte im Jahr 2019 weltweit 28 % aller energiebezogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Unter Einbezug der Bauindustrie (Stahl, Zement, Glas) erhöht sich dieser Anteil auf 38 %, siehe Abbildung 2.

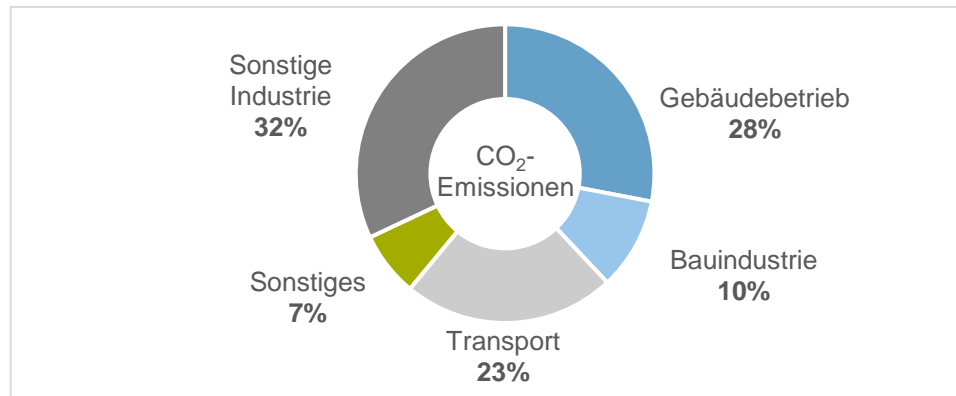


Abbildung 2. Verteilung der globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahr 2019 (Quelle: in Anlehnung an [1], stark modifiziert)

Zudem lassen sich 55 % des globalen Stromverbrauchs auf den Betrieb von Gebäuden zurückführen (Strom für Heizen, Warmwasser, Kühlung, Lüftung, Beleuchtung, inklusive Nutzer:innenstrom). [1] In Deutschland machen Bauabfälle, überwiegend bestehend aus Bauschutt, Straßenaufbruch, Baustellenabfällen sowie der Fraktion Boden und Steine, 60 % des gesamten Abfallaufkommens aus und stellen damit die größte Abfallfraktion dar [11].

Der Wohngebäudebestand in Deutschland nimmt stetig zu [12] und damit auch die Wohnfläche je Einwohner:in [13]. Trotz verpflichtender Energieeffizienzmaßnahmen [14] ist der Endenergiebedarf der privaten Haushalte seit 1990 kaum gesunken [15]. Die Entwicklung von Wohnfläche, Endenergieverbrauch und energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Haushalte in Deutschland für die Jahre 1991 bis 2019 ist in Abbildung 3 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass für das Ziel der Klimaneutralität auf Bundes- und Freistaatebene im Gebäudesektor Emissionen vermieden, reduziert und kompensiert werden müssen.

Zu den Treibhausgas-Emissionen und damit zum Klimawandel trägt das Treibhausgas (THG) Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) mit 88 % am meisten bei. Weitere wichtige THG sind Methan (CH<sub>4</sub>; 6,1 %), Lachgas (N<sub>2</sub>O; 4,1 %) und fluorierte Treibhausgase (F-Gase; 1,7 %). [16]

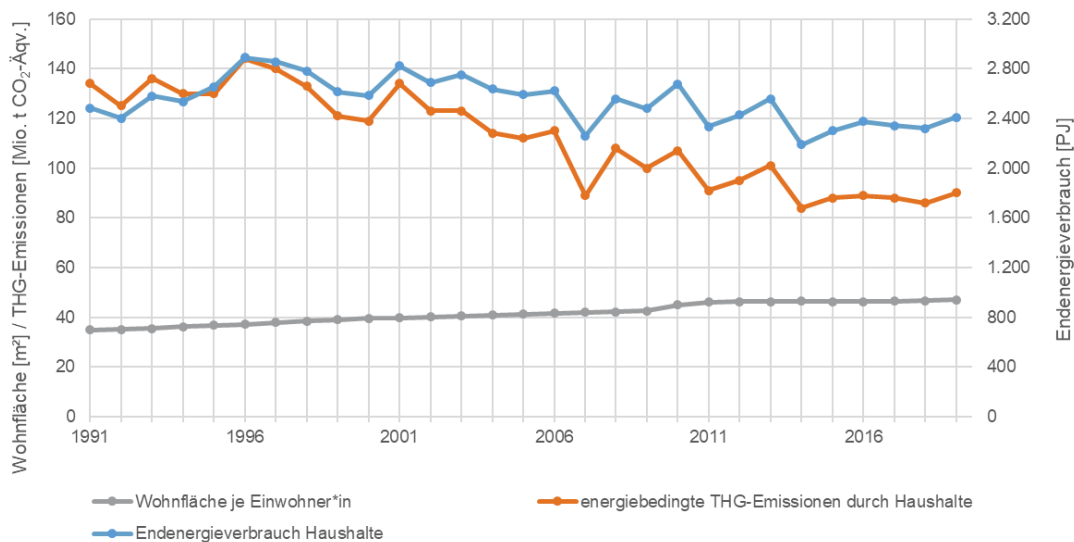


Abbildung 3. Entwicklung von Wohnfläche, Endenergieverbrauch und energiebedingten THG-Emissionen durch Haushalte in Deutschland von 1999-2019 (Quelle: eigene Darstellung auf der Basis von [13, 15, 17])

Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl weiterer Emissionen mit negativen Auswirkungen auf Mensch und Natur:

- Luftverschmutzung ist – nach Einschätzung der Europäischen Umweltagentur – die größte Umweltbedrohung für die Gesundheit in Europa, gefolgt von Lärm [18]
- Menschen verbringen bis zu 90 % ihrer Zeit in Gebäuden; Emissionen in Bezug auf die Innenraumluftqualität und die damit verbundenen Risiken für die körperliche und geistige Gesundheit sowie das Wohlbefinden (akustische Emissionen, Schadstoffe, Feinstaub, flüchtige organische Verbindungen (VOC), etc.) sollten daher berücksichtigt werden [18–22]

Ausgewählte Emissionen wie THG, VOCs und Lärm (Schallemissionen) werden bereits bei Zertifizierungssystemen für nachhaltige Gebäude bewertet. Hierzu zählen das System der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) [21] und das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) [23]. THG-freie Gebäude (bezogen auf den Energiebedarf) werden zum Beispiel vom Research Centre on Zero Emission Buildings (ZEB) gefordert [24]. Eine lebenszyklusbasierte Betrachtung aller relevanten Gebäudeemissionen erfolgt bei den gängigen Zertifizierungssystemen und Berechnungsmethoden jedoch nicht.

## 2.2. Aufgabenstellung

Im Forschungsprojekt werden die für den Gebäudesektor relevanten Emissionen identifiziert und systematisiert. Die Zuordnung der Emissionen zu den einzelnen Lebenszyklusphasen eines Gebäudes soll einen detaillierten Überblick schaffen und damit Hilfestellung auf dem Weg zu Verständnis und langfristiger Realisierung eines emissionsfreien Gebäudesektors leisten.

### 3. Methodisches Vorgehen

In diesem Kapitel wird das methodische Vorgehen für das Forschungsprojekt beschrieben. Zunächst erfolgt eine Literaturrecherche sowie deren systematischen Auswertung. Eine Übersicht liefert die nachstehende Abbildung 4.

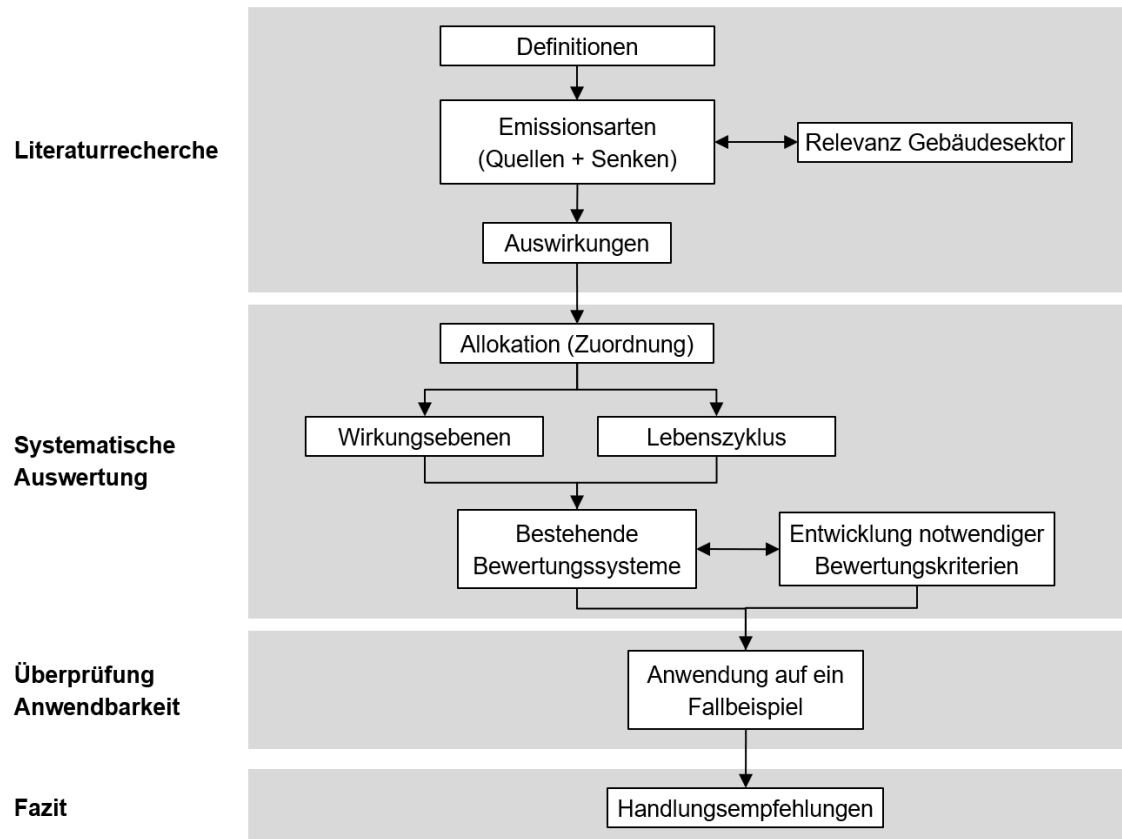


Abbildung 4. Methodisches Vorgehen (eigene Darstellung)

Anschließend werden die Emissionen mit bestehenden Bewertungssystemen verglichen und analysiert, ob sie gesetzlich geregelt, freiwillig durch Zertifizierungssysteme oder Richtlinien oder (noch) nicht berücksichtigt sind. Bestehende Bewertungsmethoden werden identifiziert und, wo erforderlich, um weitere Bewertungskriterien ergänzt.

Die entwickelte Systematik wird dann an einem ausgewählten Bauvorhaben erprobt (siehe Kapitel 8). Anschließend werden Handlungshinweise zur Realisierung emissionsfreier Gebäude identifiziert (siehe Abschnitte 8.4 und 9.2).

#### 3.1. Literaturrecherche

Grundlage für das Forschungsprojekt bildet eine systematische Literaturrecherche zu Emissionen im Gebäudesektor. Das methodische Vorgehen hierfür lässt sich in drei Teile gliedern: (A) Suche, (B) Analyse und (C) Auswahl relevanter Literatur (siehe

Abbildung 5). In verschiedenen Datenbanken und Kriterienkatalogen von Gebäudezertifizierungen wurde nach den Stichworten „Emissionen Gebäudesektor“, „emissionsfreie Gebäude“, „building emissions“ und „zero emission buildings“ gesucht. Die gefundene Literatur wurde hinsichtlich ihrer Relevanz für das Projekt zunächst nach dem Titel ausgewählt, im nächsten Schritt wurde die Kurzfassung (Abstract) gelesen und analysiert. Danach wurde bei den ausgewählten Dokumenten weitere Literatur über die darin zitierte Literatur identifiziert (Schneeballsystem). Dieser Vorgang wurde so lange wiederholt, bis keine neuen relevanten Quellen gefunden wurden. Quellen, die im Verlauf des Forschungsprojekts noch als relevant identifiziert wurden, wurden entsprechend ergänzt. Zum Thema Emissionen und Emissionsfreiheit im Gebäudesektor ergeben sich damit 318 Titel. Nach detaillierter inhaltlicher Analyse wurden diese auf 230 reduziert.

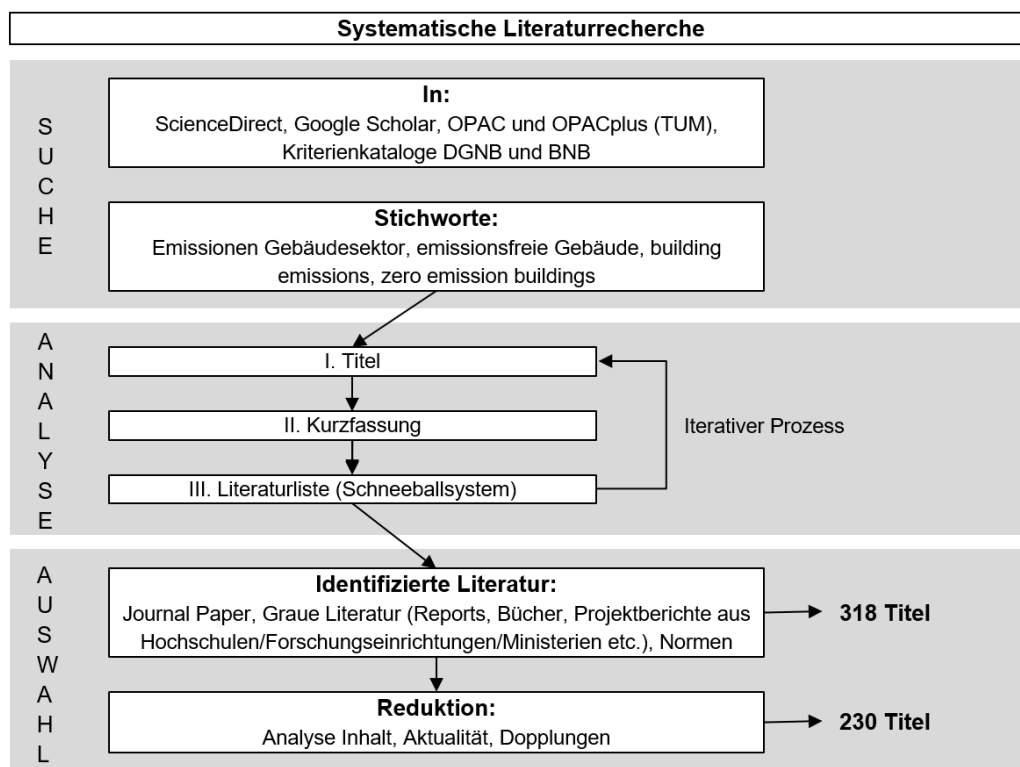


Abbildung 5. Methodisches Vorgehen bei der Literaturrecherche und Auswahl relevanter Literatur (eigene Darstellung)

### 3.2. Systematische Auswertung

In einem weiteren Schritt (Teil D, siehe Abbildung 6) wurden die relevanten Titel für die systematische Auswertung mit der Software *Citavi* [25] verwaltet und themenbezogen gruppiert. Die verschiedenen Ebenen der Gruppierung und exemplarische Themenfelder sind in Abbildung 6 dargestellt.

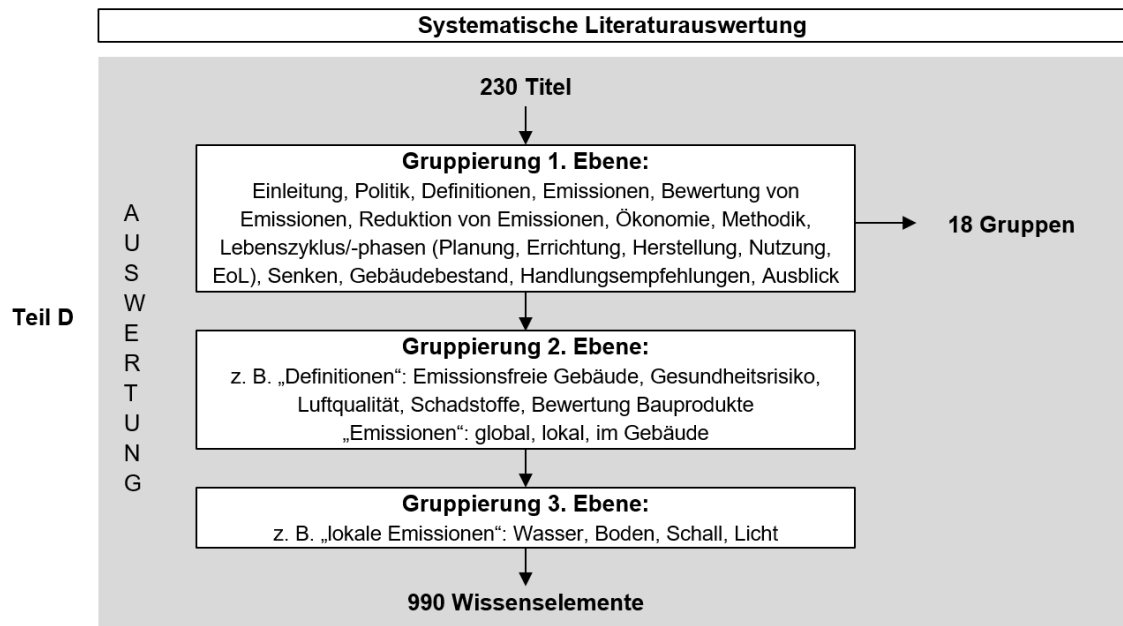


Abbildung 6. Methodisches Vorgehen bei der Literaturrecherche (eigene Darstellung)

Neben der thematischen Gruppierung wurden die identifizierten und für den Gebäudesektor relevanten Emissionen hinsichtlich ihrer Wirkungsebene und bezüglich ihres Auftretens in den Lebenszyklusphasen nach DIN EN 15978 [2] kategorisiert.

### 3.3. Systemgrenzen

Basierend auf der Literaturrecherche wurden die Systemgrenzen für die weitere Betrachtung und Bewertung abgeleitet. Das Projekt fokussiert sich auf den Gebäudesektor; es werden daher all jene Emissionen berücksichtigt, die ein Gebäude während seines Lebenszyklus verursacht. Hierzu zählen:

- Emissionen für die Herstellung der Baumaterialien
- Emissionen während der Errichtungsphase (Baustelle)
- Emissionen aufgrund von Materialtransport bei der Herstellung, Errichtung und Entsorgung<sup>2</sup>
- Emissionen während der Nutzungsphase (Betrieb)
- Emissionen durch die Entsorgung (End-of-Life)
- Emissionen durch das Recycling

<sup>2</sup> Emissionen aus Straßen- und Luftverkehr, die nicht auf den Baumaterialtransport zurückzuführen sind und in das Gebäude gelangen können (Feinstaub, Lärm, etc.), sind ohne Bezug zu Baumaterialien bzw. der Baukonstruktion und daher nicht Bestandteil der Betrachtung.

## 4. Definition von Emissionen und Emissionsfreiheit

Im Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) [26] sind Emissionen die von einer Anlage ausgehenden Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Erscheinungen. Das Umweltbundesamt definiert Emissionen als den „Ausstoß von Treibhausgasen und Luftschadstoffen in die Atmosphäre“ [27]. Im Handbuch des Umweltschutzes und der Umweltschutztechnik heißt es hierzu im Vorwort des Herausgebers Heinz Brauer [28, S. XIII]:

*„Emissionen sind die Begleiterscheinungen menschlicher Tätigkeit [...] Eine emissionsfreie Tätigkeit des Menschen ist nach aller bisherigen Erfahrung eine Utopie. Sie vermag jedoch als weitgestecktes Ziel zu dienen, dem wir uns in vielen kleinen Schritten nähern [...].“*

Die Recherche zum Begriff „emissionsfrei“ macht deutlich, dass auch diese Definition komplex ist und von der Betrachtungsebene abhängt. „Emissionsfrei“ kann bedeuten, dass keine Emissionen in Bezug auf Emissionstyp (z. B. CO<sub>2</sub>) und Lebenszyklusphase (z. B. Nutzungsphase) anfallen oder anfallende CO<sub>2</sub>-Emissionen mit am Standort produzierter erneuerbarer Energie kompensiert werden [24, 29–31]. Der Begriff kann im weiteren Sinne auch bedeuten, dass die von einem Gebäude freigesetzten Emissionen die Aufnahmekapazität der lokalen, regionalen und globalen Umwelt nicht überschreiten [32]. Aufgrund des ganzheitlichen Ansatzes im vorliegenden Projekt werden die verschiedenen, mittels Literaturrecherche identifizierten, Definitionen zusammengeführt [26–32]:

**Emissionen** umfassen im Rahmen des Projekts sowohl stoffliche Austräge oder Ausstöße wie Treibhausgase, Phosphat- und Sulfat-Verbindungen und VOC als auch akustische, thermische und radiative Emissionen wie Schall und Licht, die von einem Gebäude ausgehen und Auswirkungen auf die Umwelt ausüben. Die Emissionen werden über den gesamten Lebenszyklus von Gebäuden betrachtet; dieser umfasst die Phasen Herstellung, Errichtung, Nutzung, Entsorgung und Recycling [2].

Ein **emissionsfreies Gebäude** sowie ein **emissionsfreier Gebäudesektor** haben keine schädlichen Einflüsse auf Menschen, Umwelt und Klima und bewegen sich innerhalb der Aufnahmekapazitäten der lokalen, regionalen und globalen Umwelt.



## 5. Emissionen im Gebäudesektor

Um Klimaneutralität bis 2050 zu erreichen, müssen vor allem die Treibhausgasemissionen, wie zum Beispiel CO<sub>2</sub>-Emissionen, innerhalb der nächsten Jahrzehnte drastisch reduziert werden [33, 34]. Der Gebäudesektor spielt dabei eine große Rolle [1, 9, 16, 29, 35, 36]. Für einen emissionsfreien Gebäudesektor sind darüber hinaus auch weitere Umweltwirkungen und Emissionen, wie zum Beispiel von Schadstoffen, Schall, Licht und Strahlung, zu vermeiden und zu reduzieren (vgl. Kapitel 4).

Mögliche Gebäudeemissionen werden im Folgenden hinsichtlich ihrer Wirkungsebene in drei verschiedene Bereiche eingeteilt: globale Emissionen, Emissionen des Gebäudes lokal am Standort und Emissionen innerhalb des Gebäudes (siehe Abbildung 7).

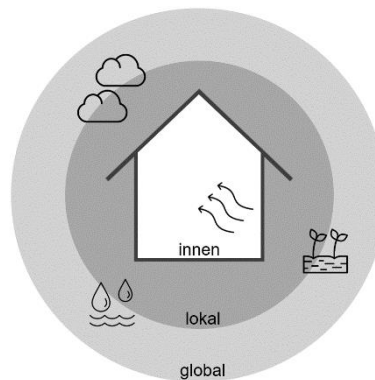


Abbildung 7. Wirkungsebenen von Gebäude-Emissionen (Quelle: übersetzt nach [37], Symbole nach [38])

Die Zuordnung zu den Lebenszyklusphasen nach DIN EN 15978 [2] und deren Berücksichtigung in Bezug auf rechtliche Rahmenbedingungen ist in Tabelle 5 dargestellt.

### 5.1. Globale Emissionen

Zu den global wirkenden Emissionen zählen mehr als sechzig verschiedene Treibhausgase, die zur globalen Erwärmung (Treibhauseffekt) beitragen [39, 40]. Dies umfasst insbesondere CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O und F-Gase, wobei die Freisetzung von CO<sub>2</sub> als Hauptverursacher der THG-Emissionen gilt [16].

Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl weiterer Emissionen, die zur Luftverschmutzung, Versauerung und Eutrophierung (Überdüngung) von Boden und Wasser, Bildung von gesundheitsschädlichem bodennahem Ozon sowie zum Abbau der Ozonschicht beitragen. Hierzu zählen zum Beispiel Feinstaub, Stickstoffverbindungen wie Ammoniak (NH<sub>3</sub>), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) und Stickstoffmonoxid (NO), Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Phosphat (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), Phosphor (P) und Phosphorsäure (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>). [39]

Zu den energiebedingten Emissionen, verursacht durch die Gewinnung und Verbrennung fossiler Brennstoffe, zählen neben CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> (Treibhauseffekt) insbesondere SO<sub>2</sub>, Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>) und NH<sub>3</sub> (Versauerung). Stickstoffoxide

können zudem mit Vorläufersubstanzen wie VOC zu gesundheitsschädlichem bodennahem Ozon (O<sub>3</sub>) reagieren („Sommersmog“). [41]

## 5.2. Lokale Emissionen

Als lokale Emissionen gelten im Rahmen des Forschungsprojekts Emissionen, die vom Gebäude direkt am Standort verursacht werden und dort Wasser, Boden und/oder Luft beeinflussen.

### 5.2.1. Wasser und Boden

Durch Auswaschung aus Baumaterialien können Schadstoffe wie Schwermetalle, Salze und organische Stoffe in Gewässer und Grundwasser gelangen. Zu den Emissionsquellen zählen insbesondere Dach- und Fassadenelemente aus Kupfer und Zink, Beschichtungen und Baustoffe für Fassaden, Fundamente, Dachbahnen, Wasserbausteine und Gesteinskörnungen für Untergründe. [42–44]

Werden zum Schutz der Baumaterialien vor Algen, Pilzen oder tierischen Schädlingen Biozide verwendet, können diese ebenfalls durch Auswaschung in den biologischen Kreislauf gelangen. Als Quelle sind vor allem Farben, Lacke, Kleb- und Dichtstoffe, Putze, Holz, Dachsteine, Gehwegplatten und andere Bauprodukte für den Außenbereich zu nennen. [42, 45] In Bezug auf die ausgewaschene Menge an Bioziden aus Fassaden spielt unter anderem die Fassadenorientierung eine große Rolle: die höchste Menge ist an der Wetterseite, also der Seite mit den häufigsten und höchsten Windgeschwindigkeiten, zu beobachten [46].

Giftige Substanzen können zudem durch unbehandeltes Abwasser in die Umwelt gelangen. Undichtigkeiten (Leckagen), nicht an das Leitungsnetz angeschlossene Gebäude, Oberflächenabfluss und Regenüberläufe können hierfür der Grund sein. [47, 48]

Des Weiteren sind Boden und Grundwasser oftmals während der Baustelle chemischen und mechanischen Einwirkungen ausgesetzt [21].

### 5.2.2. Luft

Die Verbrennung von fossilen Brennstoffen oder Holz verursacht neben Wasserdampf Emissionen, wie CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, und organische Verbindungen, wie polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), die die menschliche Gesundheit gefährden [22, 29, 49].

Des Weiteren entsteht Staub bei der Be- und Verarbeitung von Baustoffen auf der Baustelle. Dieser kann durch die Atmung von den Schleimhäuten aufgenommen werden und zu gesundheitlichen Schädigungen führen [21].

Bei der Errichtung, dem Betrieb sowie dem Abriss von Gebäuden treten zudem akustische Emissionen (Schall/Lärm) auf, welche durch Baumaschinen und Lüftungsanlagen oder andere technische Anlagen verursacht werden. Diese können

sich negativ auf die menschliche Gesundheit und das Wohlbefinden auswirken. [18, 21, 50, 51]

Lichtemissionen durch künstliche Lichtquellen zur Beleuchtung von Gebäuden können die Artenvielfalt beeinträchtigen, zum Beispiel infolge von Individuenverlusten durch Verbrennen bei Kollision mit der Lichtquelle. Zudem kann sich die Nachbarschaft (durch Blendung) belästigt fühlen. [51, 52]

### 5.3. Emissionen im Inneren des Gebäudes

Luftverschmutzung verursacht jährlich mehr als 400.000 vorzeitige Todesfälle in der Europäischen Union und ist damit die größte Umweltbedrohung für die menschliche Gesundheit [18]. Die Luftqualität in Städten wird in Zukunft aufgrund der zunehmenden Industrie, der Verbrennung fossiler Brennstoffe und insbesondere des Verkehrs ein wichtiger Gesundheitsfaktor sein. Zu den relevanten Emissionen hieraus zählen Feinstaub, Öl, Ruß, Schwermetalle und Lärm. [29, 53, 54] Gelangen diese Emissionen durch (Fenster-)Lüftung oder Anhaftung an die Kleidung in Innenräume, können sie dort mit Menschen in Kontakt treten und zu Gesundheitsproblemen führen [55]. Der Transport von Baumaterialien und Bauprodukten wird daher im Rahmen des Forschungsprojekts mitberücksichtigt.

Die Luftqualität in Innenräumen hängt jedoch nicht nur von der Außenluftqualität und der Belüftung ab, sondern auch von einer Reihe anderer Faktoren: Innenraumluft kann verschmutzt sein mit gefährlichen Chemikalien, Radon, Schimmelpilzen sowie Emissionen aus der Verbrennung fester Brennstoffe, Reinigungs- und Konsumgütern und Zigarettenrauch. [18, 20, 54]

Darüber hinaus können Bauprodukte und Baumaterialien eine Vielzahl an Schadstoffen und besonders besorgniserregende Substanzen wie Biozide, VOC, Flammschutzmittel und Schwermetalle enthalten und diese an den Innenraum abgeben [18, 20, 21, 42, 56–58]. Die Menge an radioaktiven Stoffen in Baumaterialien und Natursteinen ist in der Regel relativ gering gegenüber Radon aus dem Boden. Diskutiert wird jedoch, inwiefern ungebrannter Lehm zu gesundheitlich schädlicher Strahlenbelastung führen kann, da eine Abgabe des radioaktiven Gases Thoron in die Raumluft unter Umständen möglich ist [59].

Lärm ist nach Angaben der European Environment Agency (EEA) das zweitgrößte Umweltrisiko nach Luftverschmutzung [18]. Schalltechnische Emissionen in Innenräumen, insbesondere aufgrund von Verkehrslärm, Sanitärtechnik, Wasserinstallationen und Geräten der Raumlufttechnik, sind für gute akustische Bedingungen – das heißt für eine gute Sprachverständlichkeit und einen niedrigen Schalldruckpegel – und damit für die Förderung von Gesundheit und Wohlbefinden soweit wie möglich zu begrenzen [21, 50].

## 5.4. Übersicht stofflicher Emissionen

Außerhalb und innerhalb von Gebäuden sowie infolge von Schadstoffeinträgen aus Baumaterialien und Bauprodukten bestehen eine Vielzahl an stofflichen Emissionen. In den folgenden Tabellen sind basierend auf der jeweils angegebenen Literatur Emissionen und ihre Quellen dargestellt. Tabelle 1 zeigt Emissionen abhängig von ihrem Auftreten außerhalb oder innerhalb des Gebäudes, Tabelle 2 Emissionen von Baumaterialien und Bauteilkomponenten, Tabelle 3 fokussiert sich auf Emissionen im Gebäudebestand.

**Tabelle 1. Quellen für Emissionen außerhalb und innerhalb von Gebäuden abhängig von ihrem Auftreten [42, 56, 59–61]**

<b>Außerhalb des Gebäudes</b>	
Außenluft	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Benzol</li> <li>• Feinstaub PM<sub>10</sub></li> <li>• Kohlenmonoxid (CO)</li> <li>• Ozon (O<sub>3</sub>)</li> <li>• Partikelgebundene polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK, „Dieselruß“)</li> <li>• Pollen</li> <li>• Schimmelsporen</li> <li>• Stickoxide (NO<sub>x</sub>)</li> <li>• Flüchtige organische Verbindungen (VOC)</li> </ul>
Industrie/Gewerbe in der unmittelbaren Umgebung oder im Gebäude	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abgase aus Feuerungen (z. B. NO<sub>x</sub>, Feinstaub)</li> <li>• Gerüche</li> <li>• VOC</li> </ul>
Bauuntergrund (Boden)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Radon</li> </ul>
Gewinnung und Verbrennung fossiler Brennstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CO<sub>2</sub></li> <li>• CH<sub>4</sub></li> <li>• SO<sub>2</sub></li> <li>• NO<sub>x</sub></li> <li>• NH<sub>3</sub></li> <li>• O<sub>3</sub> durch Reaktion von NO<sub>x</sub> mit VOC</li> </ul>
<b>Innerhalb des Gebäudes</b>	
Baumaterialien und Einrichtungsgegenstände	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biozide</li> <li>• Fasern (z. B. Textil-, Mineralfasern)</li> <li>• Formaldehyd</li> <li>• Flammschutzmittel, z. B. Tris(2-chlorethyl)phosphat (TCEP)</li> <li>• Nitrat</li> <li>• Nitrit</li> <li>• Phthalate (Weichmacher)</li> <li>• Schwerflüchtige oder partikelgebundene organische Verbindungen (SVOC/POM)</li> <li>• Sulfat</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• VOC</li> <li>• Radioaktive Stoffe</li> </ul> <p>siehe auch Tabelle 2 und Tabelle 3</p>
Feuchte Materialien, hohe Luftfeuchtigkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bakterien</li> <li>• Milben</li> <li>• Schimmelpilze</li> <li>• VOC</li> </ul>
Bewohner, Stoffwechselprodukte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bakterien</li> <li>• Körpergerüche/VOC</li> <li>• CO<sub>2</sub></li> <li>• Wasserdampf</li> </ul>
Kochen, Warmwassererzeugung und Heizen mit Gas und Holz, z. B. durch Gasherd, Holzofen und Durchlauferhitzer mit Bereitschaftsflamme	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CO</li> <li>• CO<sub>2</sub></li> <li>• Formaldehyd</li> <li>• Gerüche/VOC</li> <li>• NO</li> <li>• Partikel</li> <li>• Wasserdampf</li> </ul>
Bad/WC (Duschen, Baden, Körperhygiene)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Duftstoffe</li> <li>• Gerüche</li> <li>• Wasserdampf</li> <li>• VOC</li> </ul>
Haushaltprodukte, Hobby	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biozide</li> <li>• Duftstoffe</li> <li>• Formaldehyd</li> <li>• SVOC</li> <li>• VOC</li> </ul>
Räucherstäbchen, Kerzen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PM<sub>10</sub></li> <li>• SVOC<sub>10</sub></li> <li>• VOC</li> </ul>
Rauchen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PM<sub>10</sub></li> <li>• partikelgebundene PAK</li> <li>• NO</li> <li>• CO</li> <li>• Formaldehyd</li> <li>• Benzol</li> <li>• VOC</li> <li>• SVOC</li> </ul>

Tabelle 2. Quellen für Emissionen aus Baumaterialien und Bauteilkomponenten [21, 42, 60, 62–64]

<b>Baumaterialien und Bauteilkomponenten</b>	<b>Emissionen</b>
Beschichtungen, Anstriche (Farben, Lacke)	Biozide, VOC, TCEP, Phthalate (Weichmacher), Formaldehyd, SVOC, Halogene
Kleb- und Dichtstoffe	Biozide, VOC, Formaldehyd, Flammschutzmittel (z. B. OctaBDE, bromiertes Polystyrol, kurzkettige Chlorparaffine (SCCP – Short Chained Chlorinated Paraffins)), PAK, Phthalate, halogenierte Treibmittel
Verlegewerkstoffe und Hilfsstoffe zur Belegung von Oberflächen, z. B. Grundierungen, Voranstriche, Spachtelmassen, Fugenmörtel, Klebstoffe unter Wand- und Bodenbelägen	VOC, gefährliche und besonders besorgniserregende Stoffe (SVHC), Formaldehyd, Biozide
Imprägnierungen im Innenbereich, z. B. bei Naturstein	VOC
Putze	Biozide
Holz, Holzwerkstoffe, Holzwerkstoffplatten	Biozide (z. B. Dichlordiphenyltrichlorethan DDT), Formaldehyd, chemischer Holzschutz (z. B. Pentachlorphenol PCP, Lindan), Flammschutzmittel (z. B. Borverbindungen)
Dachsteine	Biozide
Gehwegplatten, Bauprodukte für den Außenbereich	Biozide
Wand- und Deckenbekleidungen	VOC (insbesondere bei Tapetenkleber), PCP, Lindan
Textile Bodenbeläge	Biozide, VOC, gefährliche Stoffe, Flammschutzmittel (Decabromdiphenylether (DecaBDE), bromiertes Polystyrol), TCEP
Elastische Bodenbeläge	VOC, SVOC, gefährliche Stoffe, Schwermetalle
EP-/PU-Grundierungen	Polyurethan, Epoxidharze
Sportplatzbeläge	Schwermetalle (Quecksilber (Hg), Blei (Pb), Chrom (Cr), Zink (Zn), Antimon (Sb))
Dämmung	Mineralwolle, Glasfaservliese: Formaldehyd; Dämmplatten aus expandiertem Polystyrol (EPS) und extrudiertem Polystyrol (XPS): Flammschutzmittel (Hexabromcyclododekan – HBCD), halogenierte Treibmittel; Polyurethan (PUR/PIR): Flammschutzmittel (z. B. HBCD, TCEP, PentaBDE), halogenierte Treibmittel;

	Mineralfaserdämmung: krebserregende künstliche Mineralfasern; Brandschutz-Dämmung in bspw. Haustechnikkomponenten und Wandbelägen: Chlorparaffine, Polybromierte Biphenyle, Diphenylether, SVHC
Betonzusatzmittel	Formaldehyd
Betontrennmittel (Schalöle, Trennmittel beim Betonieren)	VOC
Ort- und Montageschäume	Formaldehyd, Flammschutzmittel TCEP, halogenierte Treibmittel, Chlorparaffine
Haustechnikkomponenten	Flammschutzmittel (DecaBDE, bromiertes Polystyrol), Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW)/teilhalogenierte FCKW (HFCKW) in Kältemitteln
Textilien, Polstermöbel	Weichmacher und Flammschutzmittel TCEP, DecaBDE
Kunststoffe	SCCP, Flammschutzmittel, Schwermetalle (bei Kunststofffolien zur Abdichtung), SVCH, Phthalate
Dampfsperren	Flammschutzmittel (DecaBDE, Propylendibromstyrol)
Fassadenplatten	Flammschutzmittel wie z. B. Tetrabrombisphenol A (TBBPA)
Kunststoffgläser	Flammschutzmittel (bromiertes Polystyrol, TBBPA-Derivat)
Metallbauteile	Schwermetalle bei Passivierung von Aluminium und Edelstahl (Chrom); Grundierung, Beschichtung (Blei, Cadmium, Chrom); Dacheindeckung/Dachrinnen (Blei, Kupfer, Zink)

**Tabelle 3. Emissionen aus Baumaterialien und Bauteilkomponenten im Gebäudebestand [42, 56, 60, 63]**

<b>Gebäudebestand</b>	
Baumaterialien und Bauteilkomponenten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asbest</li> <li>• Chloranisole</li> <li>• Chlorparaffine</li> <li>• Formaldehyd</li> <li>• Künstliche Mineralfasern</li> <li>• Lindan</li> <li>• Nitrat</li> <li>• Nitrit</li> <li>• Partikelgebundene PAK</li> <li>• Pentachlorphenol (PCP)</li> <li>• Polychlorierte Biphenyle (PCB)</li> <li>• Radioaktive Materialien</li> <li>• Schwermetalle, z. B. Blei</li> <li>• Sulfat</li> <li>• Teerölbestandteile wie Naphthalin</li> <li>• Tris(2-chlorethyl)phosphat (TCEP)</li> <li>• VOC</li> </ul>
Davon sind heute für die Anwendung in Bauprodukten verboten:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asbest</li> <li>• DDT</li> <li>• Lindan (Insektizid in Holzschutzmitteln)</li> <li>• Mineralwollfaser vor dem Jahr 2000 bzw. "Alte Mineralwolle"</li> <li>• PCP</li> <li>• PCB</li> <li>• Treibmittel auf Basis von FCKW</li> </ul>

Insbesondere bei Arbeiten im Gebäudebestand bedarf es einer intensiven Betrachtung der verbauten Baumaterialien und Bauteilkomponenten. Die folgende Tabelle liefert daher eine Übersicht zu häufigen Emissionen und ihrem Vorkommen.

**Tabelle 4. Emissionen und ihr Vorkommen in Baumaterialien und Bauteilkomponenten im Gebäudebestand [60, 62, 63]**

Asbest	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bituminöse und teerhaltige Materialien, z. B. Kleber von Parkett und Kork, Bitumen-/ Teeranstriche als Abdichtung auf Dachterrassen/Flachdächern/an der Außenfassade in Kellergeschossen, Bitumen- bzw. teerhaltige Dehnungsfugen, Fassadenelemente (aus Metall), Dampfsperren, Bitumen- bzw. Teerpappen (z.B. als Abdichtung auf Dächern), Bitumen- bzw. Teerschweissbahnen, Gussasphalte</li> <li>• Dichtungsringe, Flanschdichtungen</li> <li>• Einschichtige Bodenbelags-Platten und Bodenbeläge, insb. Vinyl-Platten aus den 50er bis 70er Jahren (Floorflex, Vinyl-Asbest-Platten, PVC-Flexplatten oder Vinyl-Asbest-Fliesen), Kleber der Platten</li> <li>• Anstriche/Lacke von Rohrleitungen bei Industrieanlagen und in der Haustechnik</li> </ul>
--------	--



	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Faserzement bei Wellplatten, Schindeln, Rohre, Platten, Brunnenröge</li> <li>• Fensterkitt und Anschlagkitt</li> <li>• Holzzementböden, Holzfaserzement, Steinholzböden</li> <li>• Kunstharzböden (z.B. Epoxidharzböden)</li> <li>• Leichtbauplatten, Pappe/Karton, Schaumstoff (z. B. Litaflex), Brandabschottungen, Decken-/Akustikplatten</li> <li>• Anstrich/Spachtelmassen von Holzwerkstoffplatten oder deren Kleber</li> <li>• reine Asbestfasern in Gewebe, Schnüre, Kissen z. B. als Leitungsumwicklung</li> <li>• Dämmung von Armaturen</li> <li>• Kunststoffabdichtungsbahnen (z. B. Hypalon, CSM), mehrschichtige Boden- und Wandbeläge/Cushion-Vinyl</li> <li>• Rohrisolationen mit asbesthaltigem Mörtel, Spritzasbest/Spritzbeläge (z. B. Brandschutz von Stahlkonstruktionen)</li> </ul>
Polychlorierte Biphenyle (PCB)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anstriche, Beschichtungen insb. von Metallkonstruktionen und auf Beton (Dichtungsanstriche), Fugendichtungsmassen, Transformatoren, Kondensatoren, Öle</li> </ul>
Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• brennbare Abfälle (Teerkork, Dachabdichtung, Dachpappen, Beschichtungen, Dämmplattenkleber), Übertragung PAK von teerhaltigen Abdichtungen auf Dachkies, teerhaltige Kleber und Beschichtungen z. B. in Parkettklebstoffen, Asphaltfliesen, Gussasphalt, Ausbauasphalt</li> </ul>
Schwermetalle	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mineralfarben, Pigmente in Anstrichen auf Putzen, Metall- oder Holzoberflächen (z. B. Blei, Cadmium, Chrom, Zink oder Quecksilber)</li> <li>• Sportplatzbeläge: Quecksilber (Hg), Blei (Pb), Chrom (Cr), Zink (Zn), Antimon (Sb)</li> <li>• Rohrleitungen für Trinkwasser (Blei)</li> </ul>
Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), teilhalogenierte FCKW (HFCKW), Fluorkohlenwasserstoffe ganz-/teilhalogeniert (FKW/HFKW)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sandwichplatten mit Kern aus Polyurethan (PUR) und Phenolharzschaum (insbesondere an Fassaden und als room-in-room-Elemente)</li> <li>• Dämmungen: stationäre Kühlanlagen und deren Leitungen, Dächer, Rohrdämmungen aus PUR</li> <li>• FCKW in Kühlmitteln</li> </ul>

Umfassende und strukturiert aufbereitete Informationen zu gesundheitlichen und umweltrelevanten Aspekten wichtiger Bauproduktgruppen und Grundstoffe einschließlich möglicher Anwendungsbereiche werden im Webportal *WECOBIS* [65] kostenfrei zur Verfügung gestellt. Dabei wird auch Bezug zu den einzelnen Lebenszyklusphasen genommen. Hintergrundinformationen zu Bauprodukten und Materialien des Innenausbau, wichtigen ökologischen Kenndaten, Chemikalien, Grenz- und Richtwerten sowie die gesetzlichen Regelwerke bietet das *Ökologische Baustoff-Lexikon* [66] mit mehr als 2.300 Stichwörtern. Zudem finden sich dort Daten zur gesundheitlichen und ökologischen Bedeutung, zu Arbeitsschutzmaßnahmen,

energetischen Aspekten sowie zu Recycling und Entsorgung über den gesamten Lebenszyklus. Informationen und Empfehlungen zu ausgewählten Baustoffen und deren Emissionen sind darüber hinaus in Zertifizierungssystemen, wie dem des Bundes (BNB) [23] oder der DGNB [21], zu finden.

## 5.5. Emissionen im Gebäudelebenszyklus

Im Folgenden werden die identifizierten Emissionen gruppiert und den einzelnen Lebenszyklusphasen eines Gebäudes nach DIN EN 15978 [2] zugeordnet. Tabelle 5 zeigt diese Zuordnung und die weitere Einteilung der Emissionen in fünf Kategorien, wie sie zum Zeitpunkt der Berichterstellung berücksichtigt werden:

- o Emissionen, die außerhalb der Systemgrenze auftreten
- Emissionen, die innerhalb der Systemgrenze auftreten, aber (noch) nicht durch Gesetze oder Richtlinien etc. berücksichtigt sind
- Emissionen, die teilweise berücksichtigt werden
- + Emissionen, die freiwillig berücksichtigt werden (Zertifizierungen, Richtlinien etc.)
- ++ Emissionen, die gesetzlich berücksichtigt werden

Je nach Berücksichtigung der Emissionen innerhalb der jeweiligen Emissionsart können in einer Lebenszyklusphase mehrere der genannten Kategorien auftreten. Zum Beispiel sind Schallemissionen in der Nutzungsphase (B1) zwischen fremden, das heißt jeweils eigenständigen, Wohneinheiten gesetzlich geregelt („++“) [67]. Der Umgang mit Schallemissionen bzw. der akustischen Qualität eines Raums ist im Normalfall nicht gesetzlich geregelt und obliegt den Nutzenden/Eigentümer:innen („+“) [68].

Wie aus Tabelle 5 ersichtlich, treten in jeder Lebenszyklusphase verschiedene Emissionen auf. Dabei sind nahezu die Hälfte aller identifizierten Emissionen in Deutschland für bestimmte Phasen der Betrachtung nicht gesetzlich geregelt (44-mal „--“ von 102 insgesamt zugeordneten Emissionen). Dadurch wird ein Großteil von auftretenden Emissionen bei der Planung, Errichtung, Nutzung und Entsorgung von Gebäuden nur bedingt berücksichtigt, der aber durchaus relevant in Bezug auf den Klima- und Umweltschutz wäre. Baurechtliche Anforderungen betreffen in der Nutzungsphase zum Beispiel den Energiebedarf [14] oder Schallemissionen und Luftverschmutzung der technischen Gebäudeausrüstung [69–71]. CO<sub>2</sub>-Emissionen werden im deutschen Klimaschutzgesetz (KSG) begrenzt; die Grenzwerte beziehen sich jedoch nur auf die Nutzungsphase des gesamten Gebäudesektors und nicht auf einzelne Gebäude. Zudem werden bislang die „grauen Emissionen“, also die Emissionen, die bei der Herstellung, dem Erhalt und dem Umbau/Rückbau von Baukonstruktionen verursacht werden, im KSG nicht dem Gebäudesektor, sondern anderen Sektoren (Energiewirtschaft, Industrie, Verkehr, Abfallwirtschaft) zugeordnet. Zum Beispiel werden Transporte von Ortbeton zur Baustelle nicht dem Gebäudesektor zugeschrieben, sondern dem Verkehr. [72] Dabei ist aus Tabelle 5 ersichtlich, dass THG-Emissionen und weitere Umweltwirkungen in allen Lebenszyklusphasen eines

Gebäudes auftreten; hierzu zählen das Versauerungspotenzial (AP), das Eutrophierungspotenzial (EP), das Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht (ODP) und das Bildungspotenzial von troposphärischem, also bodennahem, Ozon.

**Tabelle 5. Lebenszyklusphasen des Gebäudes nach DIN EN 15978 [2] und Zuordnung der Emissionen**

Lebenszyklusphase	Angaben zum Lebenszyklus des Gebäudes																Ergänzende Informationen außerhalb des Gebäudezyklus
	Herstellung			Errichtung		Nutzung							Entsorgung				Recycling
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
	Rohstoffbereitstellung	Transport	Produktion	Transport	Errichtung/Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Instandsetzung	Austausch	Modernisierung	Energieverbrauch	Wasserverbrauch	Rückbau/Abriss	Transport	Abfallbehandlung	Beseitigung	Recycling
<b>THG-Emissionen</b>	+	+	+	--	--	--	--	--	+	--	+ / ++	--	--	--	+	+	+
<b>weitere Umweltwirkungen</b>	+	+	+	--	--	--	--	--	+	--	+	--	--	--	+	+	+
<b>Schadstoffe</b>	--	--	- / + / ++	--	+	+	--	--	+ / ++	--	--	--	--	--	- / ++	--	--
<b>Schall</b>	o	o	o	--	+	- / + / ++	--	--	--	--	--	o	+	--	o	o	o
<b>Licht</b>	o	o	o	o	--	+	o	o	o	o	o	o	--	o	o	o	o
<b>Strahlung</b>	--	o	--	o	--	+	o	o	o	o	- / - / ++	o	--	o	o	o	o

o Emissionen außerhalb der Systemgrenze; -- auftretende und unberücksichtigte Emissionen; - teilweise berücksichtigte Emissionen;  
+ freiwillig berücksichtigte Emissionen; ++ verpflichtend berücksichtigte Emissionen

Rund ein Viertel der ermittelten Emissionen werden in freiwilligen Richtlinien oder Zertifizierungssystemen und weiteren Handlungsempfehlungen berücksichtigt (25-mal „+“). Dazu gehören beispielsweise die THG-Emissionen und weitere Umweltwirkungen, welche für die Herstellung (A1-3), dem Austausch in der Nutzungsphase (B4) und dem End-of-Life (Entsorgung (C3, C4) und Recycling (D)) im Rahmen von Gebäude-Zertifizierungssystemen bewertet werden. Die Betrachtung von Schadstoffen in Bauprodukten und der Innenraumluft fällt ebenfalls in den freiwillig betrachteten Bereich und erfolgt für die Lebenszyklusphasen Errichtung (A5) und Nutzung (B1). Sobald ein Material oder Produkt zugelassen und auf dem Markt verfügbar ist, werden eventuell auftretende Emissionen nicht näher reguliert. [21, 42, 51]

Schallemissionen werden in den Phasen Errichtung (A5), Nutzung (B1) und Entsorgung (C1) berücksichtigt und sind dort zumindest teilweise gesetzlich geregelt [67, 69, 73]. Schallemissionen bei der Herstellung (A1-4) und dem End-of-Life (C3-4, D) von Bauprodukten fallen in die Systemgrenze des jeweiligen Betriebes und werden nicht dem hier bewerteten Gebäude zugeordnet („o“ bei A1-3, C3-4 und D).

Licht- und Strahlungsemissionen treten in Bezug auf die Lebenszyklusphasen eines Gebäudes weniger häufig auf und werden in den Phasen Nutzung (B1) und Energieverbrauch (B6) betrachtet. Eine gesetzliche Regelung ist nicht vorhanden; allerdings geht aus dem Leitfaden „Hinweise zur Messung, Bewertung und Minderung von Lichtemissionen“ der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz hervor, dass Lichtemissionen zu schädlichen Umwelteinwirkungen zählen können [52].

## 6. Ermittlung und Bewertung von Emissionen

Das nachstehende Kapitel gibt eine Übersicht über den rechtlichen Rahmen für unterschiedliche Emissionsarten. Des Weiteren werden Vorgehensweisen für die Ermittlung und Bewertung von Gebäudeemissionen beschrieben.

Dabei werden im Rahmen dieses Projekts soziale Nachhaltigkeitsaspekte, die über die gesundheitliche Auswirkung von Emissionen hinausgehen, nicht betrachtet. Hierzu zählen zum Beispiel der Ressourcenabbau oder die Arbeitsbedingungen während des Verarbeitungs- und Bauprozesses.

### 6.1. Rechtlicher Rahmen

Für eine Vielzahl an Emissionen bestehen gesetzliche Anforderungen und Vorschriften. Nachstehend sind für die identifizierten Emissionsgruppen (siehe Kapitel 5) wesentliche Regelungen aufgeführt.

#### 6.1.1. Treibhausgase (THG) und weitere Umweltwirkungen

Von den Vereinten Nationen (UN) wird mit der Klimarahmenkonvention (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC), dem sogenannten Klimaschutzabkommen, das Ziel vereinbart, eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems zu verhindern. Im Übereinkommen von Paris aus dem Jahr 2015 wurde daher festgelegt, dass der globale durchschnittliche Temperaturanstieg auf unter 2 °C bzw. 1,5 °C zu begrenzen ist. [74] Zudem wurden im Rahmen der Agenda 2030 von der UN 17 Nachhaltigkeitsziele (Sustainable Development Goals – SDGs) formuliert [4]. Von der Europäischen Kommission wurde 2019 der europäische Grüne Deal (en: European Green Deal) verabschiedet. Darin heißt es, dass im Jahr 2050 keine Netto-THG-Emissionen mehr freigesetzt werden sollen. [10] Die Bundesregierung hat zur Erfüllung der nationalen und europäischen Klimaschutzziele das Klimaschutzgesetz (KSG) Ende 2019 verabschiedet; mit dessen Änderung 2021 wurden die Klimaschutzvorgaben verschärft und das Ziel der THG-Neutralität bis 2045 verankert. Bereits bis 2030 sollen die Emissionen um 65 % gegenüber 1990 sinken. Die Gesetzesnovelle trat am 31. August 2021 in Kraft. Bis zum Jahr 2030 sollen demnach die THG-Emissionen im Vergleich zum Jahr 1990 schrittweise um mindestens 65 % gemindert werden. Hierfür werden im KSG zulässige Jahresemissionsmengen für THG-Emissionen für die Sektoren *Energiewirtschaft*, *Industrie*, *Gebäude*, *Verkehr*, *Landwirtschaft* und *Abfallwirtschaft und Sonstiges* angegeben. Für den Gebäudesektor beziehen sich die Grenzwerte jedoch einzig auf die Energiebereitstellung in der Nutzungsphase für den gesamten Gebäudesektor; Emissionshöchstmengen für einzelne Gebäude werden nicht vorgeschrieben. Auch werden THG-Emissionen oder weitere Umweltwirkungen aus anderen Lebenszyklusphasen, wie zum Beispiel der Herstellung von Baukomponenten oder Gebäuden, nicht berücksichtigt (siehe auch Kapitel 5.5). [72] Auf Gebäudeebene gibt das Gebäudeenergiegesetz (GEG) Vorgaben für den Primärenergiebedarf im Betrieb, die thermische Qualität der Gebäudehülle

sowie die Nutzung von erneuerbaren Energien. Grenzwerte oder Anforderungen in Bezug auf Emissionen sowie eine lebenszyklusbasierte Betrachtung sind nicht Bestandteil des GEG. Ebenso wird der Anteil an „grauer Energie“ für die Herstellung, den Bauwerkserhalt und den Rückbau von Gebäuden nicht berücksichtigt. Mit dem GEG sollen die energie- und klimapolitischen Ziele der Bundesregierung erreicht werden [14]; gemäß der Deutschen Umwelthilfe e.V. und der Verbraucherzentrale Bundesverband (vzbv) liefert das GEG allerdings keine nennenswerten Beiträge zum Klimaschutz [75, 76].

Der Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), oft als „Weltklimarat“ bezeichnet, ist eine Institution der UN und appelliert im aktuellen Sachstandsbericht an politische Entscheidungstragende, die CO<sub>2</sub>-Emissionen auf mindestens netto Null zu verringern und damit den anthropogenen Klimawandel zu minimieren. Auch die Reduktion von Methan-(CH<sub>4</sub>-)Emissionen würde demzufolge zur Begrenzung der Erderwärmung beitragen und die Luftqualität verbessern. [3]

Der Schutz von Menschen, Tieren, Pflanzen, Boden, Wasser, Atmosphäre sowie Kultur- und sonstigen Sachgütern vor schädlichen Umwelteinwirkungen ist des Weiteren im Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) verankert. Genehmigungsbedürftige Anlagen<sup>3</sup> sind so zu errichten und zu betreiben, dass schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren nicht hervorgerufen werden. Zudem müssen Abfälle vermieden und Energie sparsam und effizient verwendet werden. [26]

### **6.1.2. Schadstoffe**

Schadstoffemissionen werden sowohl auf nationaler als auch auf europäischer Ebene in verschiedenen Regelungen behandelt. Auf europäischer Ebene zählen hierzu beispielsweise die allgemeinen Bestimmungen der Chemikalienverordnung REACH (en: Registration, Evaluation, Authorisation of Chemicals), der Biozid-Verordnung, Stoffbeschränkungen aus der Verordnung über persistente organische Schadstoffe (POP-Verordnung) und die Decopaint-Richtlinie. Darüber hinaus gilt auf Bundesebene die deutsche Chemikalien-Verbotsverordnung sowie die Bauprodukteverordnung Nr. 305/2011. Zudem stellen freiwillige Instrumente zur Reduktion von Schadstoffen in Bauprodukten weitergehende Hinweise und Empfehlungen bereit, wie zum Beispiel Umweltzeichen oder Umweltproduktdeklarationen. [77] Eine detaillierte Auflistung und Beschreibung der geltenden Anforderungen und freiwilligen Regelungen liefert zum Beispiel das Umweltbundesamt im Online-Artikel „Rechtliche Regelungen für Bauprodukte“ [77]. Eine Übersicht bietet auch die Broschüre „Ökologische Baustoffwahl“ des BBSR [42].

Minderungsverpflichtungen für die wichtigsten Luftschadstoffe sind in der europäischen National Emission Ceilings (NEC) Richtlinie (EU 2016/2284) festgelegt. Hierzu zählen: Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>), NH<sub>3</sub>, NMVOC und Feinstaub (PM<sub>2,5</sub>). Die Grenzwerte sind ab 2020 relativ zum Jahr 2005 einzuhalten. Das Göteborg-Protokoll

---

<sup>3</sup> Hierzu zählen gemäß BImSchG: Betriebsstätten und sonstige ortsfeste Einrichtungen; Maschinen, Geräte und sonstige ortsveränderliche technische Einrichtungen und Fahrzeuge, soweit sie nicht der Vorschrift des § 38 unterliegen; Grundstücke ohne öffentliche Verkehrswege, auf denen Stoffe gelagert/abgelagert oder Arbeiten durchgeführt werden, die Emissionen verursachen können.

der Genfer Luftreinhaltungskommission enthält analoge Minderungsziele für die Jahre 2020 bis 2029, ab 2030 werden in der NEC-Richtlinie dann deutlich höhere Reduktionen gefordert. [78]

Auf Bundesebene sind Immissionsgrenzwerte und Zielwerte in der 39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (39. BImSchV) für folgende Stoffe ausgewiesen: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Feinstaub (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>), Blei, Benzol, Kohlenmonoxid (CO), bodennahes Ozon und Schwermetalle (Arsen, Kadmium, Nickel, Benzo(a)pyren [69]. Zum Schutz und zur Vorsorge der Bevölkerung vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen von genehmigungspflichtigen industriellen und gewerblichen Anlagen sind in der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) Grenzwerte für Benzol, Blei, Schwebstaub (PM<sub>10</sub>), SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, Tetrachlorethen sowie Schwermetalle bei Stoffdepositionen festgelegt [71].

Grenzwerte für Anforderungen an die Innenraumluft sind über den Arbeitsplatzgrenzwert mit der Gefahrstoffverordnung für Arbeitsplätze, an denen mit gesundheitsschädlichen Substanzen gearbeitet wird, geregelt [79]. Für alle weiteren Innenräume in öffentlichen und privaten Gebäuden legt der Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR) des Umweltbundesamtes gesundheitliche Richtwerte (RW) und hygienische Leitwerte für Innenräume fest, welche allerdings gesetzlich nicht bindend sind [80]. Die hygienischen Leitwerte werden für die Gesamtheit der flüchtigen organischen Verbindungen in der Raumluft (TVOC), CO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>2,5</sub> und die krebserzeugenden Stoffe Benzol, 1,2-Dichlorethan und Trichlorethen angegeben; entsprechende Richtwerte werden für über fünfzig Einzelstoffe aufgelistet [80, 81].

Im Rahmen von Gebäudezertifizierungen, wie zum Beispiel BNB [23] oder DGNB [21], ist die Einhaltung von definierten Grenzwerten in Bezug auf VOC und Formaldehyd verpflichtend mittels Raumluftmessungen nachzuweisen. Das Thema Schadstoffe und Gesundheit wird auch bei anderen Zertifizierungssystemen wie BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), Green Star, HQE (Haute Qualité Environnementale), LBC (Living Building Challenge), LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), Miljöbyggnad (Sweden Green Building Council), Nordic Swan und WELL bewertet [82].

Für eine gesundheitliche Bewertung der VOC-Emissionen aus Bauprodukten, die in Innenräumen von Gebäuden verwendet werden, wurde vom Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB) ein Schema zur Vorgehensweise erarbeitet (AgBB-Schema). Bei Einhaltung der im Bewertungsschema vorgegebenen Prüfwerte werden die Mindestanforderungen der Landesbauordnungen in Deutschland zum Schutz der Gesundheit im Hinblick auf VOC-Emissionen erfüllt [83].

Die Begriffe „Leitwert“ und „Richtwert“ werden im Folgenden erläutert. In Abbildung 8 ist eine Übersicht über die Einordnung der Begrifflichkeiten dargestellt.

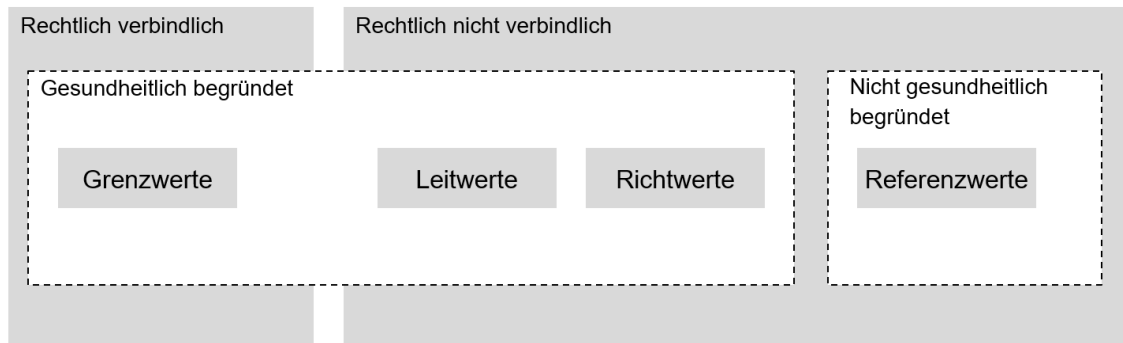


Abbildung 8. Verbindlichkeit rechtlich festgelegter Werte (Quelle: in Anlehnung an [81], stark modifiziert)

Im Gegensatz zu Grenzwerten sind Leit- und Richtwerte grundsätzlich nicht rechtlich bindend. Zur gesundheitlichen Bewertung der Innenraumluftqualität werden Richtwerte abgeleitet. Der AIR unterscheidet dabei zwei Richtwerte: den Vorsorgerichtwert (RW I) und den Gefahrenrichtwert (RW II). Diese sind gemäß [80] wie folgt definiert:

- Richtwert I (RW I – Vorsorgerichtwert):

Konzentration eines Schadstoffes in der Innenraumluft, bei deren Einhaltung oder Unterschreitung nach gegenwärtigem Forschungsstand auch bei lebenslanger Exposition keine gesundheitliche Beeinträchtigung zu erwarten ist. Bei Überschreitung sollte allerdings aus Gründen der Vorsorge gehandelt werden; gleichzeitig sollten Maßnahmen zur Minimierung der Schadstoffkonzentration ergriffen werden. Der RW I kann hiermit als Zielwert bei einer Sanierung dienen.

- Richtwert II (RW II – Gefahrenrichtwert):

Wirkungsbezogener Wert, der sich auf die gegenwärtigen toxikologischen und epidemiologischen Kenntnisse zur Wirkungsschwelle eines Schadstoffes stützt; bei Erreichen des Werts bzw. dessen Überschreitung ist unverzüglich zu handeln, Schäden für menschliche Gesundheit sind sehr wahrscheinlich. Der Richtwert II steht im direkten Bezug zu den Bauordnungen der Länder, in denen es heißt: „Bauliche Anlagen müssen so beschaffen sein, dass Gefahren durch chemische, physikalische oder biologische Einflüsse nicht entstehen.“

Leitwerte werden festgelegt, wenn Erfahrungen zur Gesundheitsschädigung von Stoffkonzentrationen zwar vorliegen, Richtwerte aber noch nicht rein toxikologisch begründet festgelegt werden können. [80]

### 6.1.3. Schall

In den „Grundanforderungen an Bauwerke“ der Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 wird in Bezug auf den Schallschutz gefordert, Bauwerke derart zu entwerfen und auszuführen, dass „der von den Bewohnern oder von in der Nähe befindlichen Personen wahrgenommene Schall auf einem Pegel gehalten wird, der nicht gesundheitsgefährdend ist und bei dem zufriedenstellende Nachtruhe-, Freizeit- und Arbeitsbedingungen sichergestellt sind.“ [67] In der DIN 4109 „Schallschutz im Hochbau“ werden entsprechend die Schutzziele

*Gesundheitsschutz, Vertraulichkeit bei normaler Sprechweise* und *Schutz vor unzumutbaren Belästigungen* verfolgt und Mindestanforderungen an die Schalldämmung von Bauteilen schutzbedürftiger Räume und an die zulässigen Schallpegel in schutzbedürftigen Räumen in Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden (Neubauten und bauliche Änderungen bestehender Bauten) geregelt. Dabei werden folgende Geräusche berücksichtigt:

- aus fremden Räumen (z. B. Nachbarwohnungen)
- von Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung sowie aus Gewerbe- und Industriebetrieben, die im selben oder in baulich damit verbundenen Gebäuden vorhanden sind
- Außenlärm, z. B. Verkehrslärm und Lärm aus Gewerbe- und Industriebetrieben, die nicht mit den schutzbedürftigen Aufenthaltsräumen baulich verbunden sind. [67]

Schallemissionen aufgrund von Umgebungslärm werden in der EU-Richtlinie 2002/49/EG geregelt. Unter Umgebungslärm wird dabei der Lärm verstanden, dem „Menschen insbesondere in bebauten Gebieten, in öffentlichen Parks [...], in der Umgebung von Schulgebäuden, Krankenhäusern und anderen lärmempfindlichen Gebäuden und Gebieten ausgesetzt sind“. Die Richtlinie stellt die Grundlage für die Weiterentwicklung und Ergänzung der bestehenden Gemeinschaftsmaßnahmen in Bezug auf die Lärmemissionen der wichtigsten Lärmquellen dar, wozu insbesondere Straßen- und Schienenfahrzeuge sowie Infrastruktureinrichtungen, Flugzeuge, Geräte für die Verwendung im Freien, Ausrüstung für die Industrie sowie ortsbewegliche Maschinen gehören. [84]

Umwelteinwirkungen durch Lärm von Sportanlagen werden unter Angabe von Immissionsrichtwerten und Ermittlungs- und Beurteilungsverfahren in der Achtzehnten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Sportanlagenlärmschutzverordnung – 18. BImSchV) geregelt [85].

Immissionsrichtwerte für Immissionsorte außerhalb und innerhalb von Gebäuden sind in der Sechsten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm) vorgegeben [70].

Bestimmungen über Richtwerte von Geräuschimmissionen aufgrund von Baumaschinen auf Baustellen liefert die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm. Dort finden sich auch Angaben zum Messverfahren und zu Maßnahmen, die von den zuständigen Behörden bei Überschreiten der Immissionsrichtwerte angeordnet werden sollen. [73]

Gute akustische Bedingungen zur Lärminderung und damit die Förderung von Gesundheit und Wohlbefinden werden in der DIN 18041 „Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung“ [68] empfohlen. Diese DIN ist nicht baurechtlich eingeführt, gilt aber als allgemein anerkannte Regel der Technik [86]. Die VDI 2569 gibt zudem Hinweise zum Thema „Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro“ [87].



#### 6.1.4. Licht

Lichtemissionen zählen gemäß § 3 BImSchG zu schädlichen Umwelteinwirkungen, wenn sie „nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder für die Nachbarschaft herbeizuführen“ [26].

Gesetzliche Regelungen zur Bestimmung der immissionsschutzrechtlichen Erheblichkeitsgrenzen von Lichtemissionen bestehen aktuell jedoch nicht und sind vom Gesetzgeber auch nicht angekündigt. Lichteinwirkungen im Rahmen der Immissionsschutz-Beurteilung sind als Belästigung anzusehen. Eine gesundheitliche Schädigung am Auge ist jedoch meist nicht zu erwarten. Ein System zur Beurteilung der Wirkungen von Lichtimmissionen auf den Menschen wurde erstmals 1993 in der „Richtlinie zur Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen“ (Licht-Richtlinie) erarbeitet. Die Überarbeitung im Jahr 2000 enthält auch Hinweise über die schädlichen Einwirkungen von Beleuchtungsanlagen auf Tiere, insbesondere auf Vögel und Insekten, sowie Vorschläge zu deren Minderung. Die aktuelle Überarbeitung aus 2012 enthält zudem Erläuterungen zur Ermittlung und Bewertung der Raumaufhellung und Blendung basierend auf der aktuellen Veröffentlichung des Arbeitskreises „Lichtimmissionen“ der Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft (LiTG) e.V. „Empfehlungen für die Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen“ (Version 12.3, Stand Juni 2011) sowie Empfehlungen zur Ermittlung, Beurteilung und Minderung der Blendwirkung von Photovoltaikanlagen. Zur Beurteilung von Lichtemissionen werden zwei Bereiche unterschieden: die Raumaufhellung des Wohnbereichs, beschrieben durch die mittlere Beleuchtungsstärke, und die Blendung durch Lichtquellen. [52]

#### 6.1.5. Radon

Der Schutz vor Radon ist im Strahlenschutzgesetz geregelt. Dort sind verschiedene Maßnahmen vorgesehen, um die Gesundheit von Menschen in Gebieten mit hohem Radon-Vorkommen zu schützen. Diese betreffen sowohl Wohngebäude als auch Arbeitsplätze. Als Maßstab gilt dabei ein Referenzwert von 300 Becquerel<sup>4</sup> pro Kubikmeter. [88] Je nach Gebäudetyp gelten unterschiedliche Regelungen [88]:

- Private, bereits bestehende Wohngebäude: freiwillige Maßnahmen für Eigentümer:innen und Nutzer:innen, um Radon-Konzentration zu senken
- Private Neubauten: verpflichtende bauliche Maßnahmen für Bauherrn, um weitgehend zu verhindern, dass Radon in das Gebäude eindringen kann
- Arbeitsplätze: verpflichtend einzuleitende Maßnahmen bei einer Radon-Konzentration von > 300 Becquerel/m<sup>3</sup>, um die Radon-Konzentration im Gebäude zu senken

---

<sup>4</sup> Das Becquerel (Kurzzeichen: Bq) ist die Maßeinheit der „Aktivität“ eines radioaktiven Stoffes und gibt an, wie viele Kernzerfälle pro Sekunde stattfinden [88].

### 6.1.6. Übersicht der rechtlichen Rahmenbedingungen von Emissionen

Die in Kapitel 6.1 beschriebenen rechtlichen Rahmenbedingungen und möglichen Hilfestellungen bei der Begrenzung von Emissionen sind in der nachfolgenden Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6. Übersicht der rechtlichen Rahmenbedingungen und möglichen Hilfestellungen für die Begrenzung von Emissionen

Emissionsart / Rechtliche Rahmenbedingung	Literaturverweis
<p><b>THG und weitere Umweltwirkungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Klimaschutzabkommen (Klimarahmenkonvention der UN (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC) und Übereinkommen von Paris, 2015: Begrenzung des globalen durchschnittlichen Temperaturanstiegs auf maximal 2 °C und möglichst unter 1,5 °C)</li> <li>• 17 Nachhaltigkeitsziele der UN (Sustainable Development Goals, SDGs)</li> <li>• Europäischer Grüner Deal, 2019 (European Green Deal): keine Freisetzung mehr von Netto-THG-Emissionen im Jahr 2050</li> <li>• Klimaschutzgesetz (KSG), 2019: Reduktion der deutschen THG-Emissionen schrittweise um mindestens 65 % im Vergleich zum Jahr 1990 bis zum Zieljahr 2030</li> <li>• Gebäudeenergiegesetz (GEG): Begrenzung des Primärenergiebedarfs von Gebäuden und Förderung von Nutzung erneuerbarer Energien für den Gebäudebetrieb</li> <li>• „Weltklimarat“, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen auf mindestens netto Null zu verringern, Reduktion von Methan-(CH<sub>4</sub>-)Emissionen</li> <li>• Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG): Schutz von Menschen, Tieren, Pflanzen, Boden, Wasser, Atmosphäre sowie Kultur- und sonstigen Sachgütern vor schädlichen Umwelteinwirkungen; Vermeidung von Abfällen; sparsame und effiziente Nutzung von Energie</li> </ul>	<p>[74]</p> <p>[4]</p> <p>[10]</p> <p>[72]</p> <p>[14]</p> <p>[3]</p> <p>[26]</p>
<p><b>Schadstoffe:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Umweltbundesamt, „Rechtliche Regelungen für Bauprodukte“: Detaillierte Auflistung und Beschreibung der geltenden Anforderungen und freiwilligen Regelungen, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Chemikalienverordnung REACH</li> <li>○ Biozid-Verordnung</li> </ul> </li> </ul>	<p>[77]</p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Stoffbeschränkungen aus der Verordnung über persistente organische Schadstoffe (POP-Verordnung)</li> <li>○ Decopaint-Richtlinie</li> <li>○ deutsche Chemikalien-Verbotsverordnung</li> <li>○ Bauprodukteverordnung Nr. 305/2011</li> <li>○ freiwillige Instrumente zur Reduktion von Schadstoffen in Bauprodukten, z. B. Umweltzeichen oder Umweltproduktdeklarationen</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• BBSR, „Ökologische Baustoffwahl“: Übersicht rechtlicher Rahmenbedingungen [42]</li> <li>• Europäische National Emission Ceilings (NEC) Richtlinie (EU 2016/2284): Minderungsverpflichtungen für die wichtigsten Luftschadstoffe (Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>), NH<sub>3</sub>, NMVOC und Feinstaub (PM<sub>2,5</sub>)) [78]</li> <li>• Göteborg-Protokoll, Genfer Luftreinhaltungskommission: zur NEC-Richtlinie analoge Minderungsziele für die Jahre 2020 bis 2029, ab 2030 deutlich höhere Reduktionen [78]</li> <li>• 39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (39. BimSchV): Immissionsgrenzwerte und Zielwerte für SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Feinstaub (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>), Blei, Benzol, Kohlenmonoxid (CO), bodennahes Ozon und Schwermetalle (Arsen, Kadmium, Nickel, Benzo(a)pyren) [69]</li> <li>• Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft): Schutz und Vorsorge der Bevölkerung vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen von genehmigungspflichtigen industriellen und gewerblichen Anlagen, Grenzwerte für Benzol, Blei, Schwebstaub (PM<sub>10</sub>), SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, Tetrachlorethen sowie Schwermetalle bei Stoffdepositionen [71]</li> <li>• Gefahrstoffverordnung für Arbeitsplätze: Grenzwerte für Anforderungen an die Innenraumluft [79]</li> <li>• Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR), Umweltbundesamt: gesundheitliche Richtwerte (RW) und hygienische Leitwerte für Innenräume, gesetzlich nicht bindend [80]</li> <li>• Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB): Schema zur Vorgehensweise für eine gesundheitliche Bewertung der VOC-Emissionen aus Bauprodukten in Innenräumen (AgBB-Schema) [83]</li> </ul>	
<p><b>Schall:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• DIN 4109 „Schallschutz im Hochbau“: <i>Gesundheitsschutz, Vertraulichkeit bei normaler Sprechweise</i> und <i>Schutz vor unzumutbaren Belästigungen</i>; Mindestanforderungen an die</li> </ul>	[67]

<p>Schalldämmung von Bauteilen schutzbedürftiger Räume und an die zulässigen Schallpegel in schutzbedürftigen Räumen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• EU-Richtlinie 2002/49/EG: Regelung von Schallemissionen aufgrund von Umgebungslärm [84]</li> <li>• 18. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Sportanlagenlärmschutzverordnung – 18. BImSchV): Regelung von Umwelteinwirkungen durch Lärm von Sportanlagen unter Angabe von Immissionsrichtwerten und Ermittlungs- und Beurteilungsverfahren [85]</li> <li>• Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm): Immissionsrichtwerte für Immissionsorte außerhalb und innerhalb von Gebäuden [70]</li> <li>• Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm: Richtwerte von Geräuschimmissionen aufgrund von Baumaschinen auf Baustellen [73]</li> <li>• DIN 18041 „Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung“: Empfehlungen für gute akustische Bedingungen zur Lärminderung [68]</li> <li>• VDI 2569: Hinweise zum Thema „Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro“ [87]</li> </ul>	
<p><b>Licht:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bisläng keine gesetzlichen Regelungen zur Bestimmung der immissionsschutzrechtlichen Erheblichkeitsgrenzen von Lichtemissionen</li> <li>• „Empfehlungen für die Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen“, Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), aufbauend auf Ergebnissen des Arbeitskreises „Lichtimmissionen“ der Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft (LiTG) e.V. [52]</li> </ul>	
<p><b>Strahlung / Radon:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Strahlenschutzgesetz: Maßnahmen zum Schutz vor Radon [88]</li> </ul>	

## 6.2. Kosten von Emissionen

Kosten aufgrund von Umweltbelastungen werden als „Umweltkosten“ bezeichnet. Dabei wird zum Beispiel unterschieden in Umweltkosten durch Treibhausgase („Klimakosten“), durch Luftschadstoffemissionen oder durch Lärm („Lärmkosten“) [89].

Das Umweltbundesamt (UBA) liefert hierzu Kostensätze bzw. Durchschnittswerte für Emissionen in Deutschland, deren Wirkung aber auch im Ausland auftreten kann. Dabei werden die Schäden geschätzt, welche der Gesellschaft durch Umweltbelastungen entstehen („Schadenskostenansatz“). [90] Hierzu zählen zum Beispiel Schäden durch:

- THG-Emissionen
- Emissionen klassischer Luftschadstoffe, insbesondere PM, NO<sub>x</sub>, NMVOC und NH<sub>3</sub>
- Strom- und Wärmeerzeugung (z. B. Luftschadstoffe, THG)
- Personen- und Güterverkehr: Schäden durch Flächenverbrauch und Zerschneidung, Lärm, verkehrsbezogene Aktivitäten
- Emissionen von Stickstoff und Phosphor
- Baustoffe (z. B. Zerstörung von Ökosystemen beim Abbau von Rohstoffen, THG, Freisetzung giftiger Stoffe in Böden und Gewässer)
- Landwirtschaft (z. B. THG der „Pflanzen- und Tierproduktion“)

Angaben zum methodischen Vorgehen zur monetären Bewertung von Umweltwirkungen liefern beispielsweise die DIN-Normen EN ISO 14007 und EN ISO 14008 sowie die Methodenkonvention des UBA oder die Studie „Hilfestellung für die Monetarisierung von Umweltwirkungen politischer Maßnahmen“ des INFRAS [90–93]. Dabei werden auch Hinweise zum Umgang mit bereits existierenden Umweltkostensätzen zur Anpassung des Basisjahrs und der Währung gegeben. Zudem werden Empfehlungen zur transparenten Dokumentation sowie Anwendungsbeispiele bereitgestellt.

Umweltkosten sind gemäß Schätzungen des Umweltbundesamts (UBA) zufolge ökonomisch höchst relevant: im Jahr 2019 verursachten die bundesweiten THG-Emissionen global Kosten in Höhe von mindestens 156 Milliarden Euro. Dabei werden die Umweltkosten gemäß UBA jedoch nur unzureichend internalisiert, das heißt den Verursachenden angelastet, und müssen von der Gesellschaft, zum Beispiel in Form von umweltbedingten Gesundheits- und Materialschäden, getragen werden. Das UBA fordert daher, dass Umweltkosten vor allem in Bereichen mit besonders hohen Umweltschäden, wie etwa dem Energie- und Verkehrssektor oder dem Baugewerbe stärker als bisher in Rechnung gestellt werden, um damit einen Beitrag zur Umsetzung von nachhaltigen Produktions- und Konsummustern zu leisten. [94]

Die Bedeutung von Umweltkosten für den Bausektor wird auch von anderen Studien bestätigt [95, 96]. In einer Veröffentlichung des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung zu externen Kosten im Hochbau wird dargestellt, dass die Einbindung der Umweltkostenberechnung in das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) sinnvoll ist. Außerdem zeigt die Bilanzierung von sechs Beispielgebäuden, dass die Herstellungskosten bei internalisierten Umweltkosten im Durchschnitt um 34,5 % höher liegen würden. [96] Schneider-Marín und Lang kommen zu dem Ergebnis, dass die Umweltkosten der Baukonstruktion 26 bis 37 % der Errichtungskosten bzw. 16 bis 20 % der Lebenszykluskosten ausmachen [97].

Auf politischer Ebene werden mit dem Europäischen Emissionshandelssystem (Emission Trading System – ETS) und dem nationalen Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) die THG-Emissionen, angegeben in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten, ausgewählter emissionsintensiver Industrien bepreist. Damit werden Schadenskosten, welche derzeit von Umwelt und Gesellschaft getragen werden müssen, zunehmend den Verursachenden zugeschrieben. Vom EU-ETS werden neben fossilen Energieerzeugungsanlagen die für den Baubereich relevante Metallindustrie, unter anderem mit Eisen- Stahl- und Aluminiumhütten, die Zement- und Kalkindustrie sowie die Gips- und Mineralfaserherstellung erfasst. [98, 99]

Für die Sektoren Wärme und Verkehr, welche nicht durch das EU-ETS abgedeckt werden, wurde das nationale Brennstoffemissionshandelsgesetz eingeführt. Dieses gilt für in Verkehr gebrachte THG-Emissionen aus Brennstoffen und soll als Grundlage für den Handel mit Zertifikaten für Emissionen aus Brennstoffen und für eine Bepreisung dieser Emissionen dienen. Für das Jahr 2022 beispielsweise beträgt der Festpreis pro Emissionszertifikat, also je freigesetzte Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalent, 30 Euro. Dieser Wert erhöht sich bis zum Jahr 2025 schrittweise auf 55 Euro, siehe Tabelle 7. [98, 100]

**Tabelle 7. Staffelung der CO<sub>2</sub>-Bepreisung für fossile Heiz- und Brennstoffe gemäß [100]**

	2021	2022	2023	2024	2025
CO <sub>2</sub> -Preis [€/t CO <sub>2</sub> -Äqv.]	25	30	35	45	55

Davon abweichend empfiehlt das UBA die Verwendung eines Kostensatzes von 195 €<sub>2020</sub>/t CO<sub>2</sub>-Äqv. bezogen auf das Jahr 2020, sofern die Wohlfahrt heutiger gegenüber zukünftigen Generationen höher gewichtet wird. Bei einer Gleichgewichtung der Wohlfahrt heutiger und zukünftiger Generationen wird ein Kostensatz von 680 €<sub>2020</sub>/t CO<sub>2</sub>-Äqv empfohlen. [90] Die vom UBA empfohlenen Kostensätze je Tonne CO<sub>2</sub>-Äqv. („Klimakosten“) bis zum Jahr 2050 sind in folgender Tabelle 8 dargestellt.

**Tabelle 8. UBA-Empfehlung zu den Klimakosten in € je Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalent (Quelle: nach [90])**

reine Zeitpräferenzrate <sup>5</sup>	2020	2030	2050
1 %	195	215	250
0 %	680	700	765

Neben den genannten Kostensätzen in Bezug auf CO<sub>2</sub>- und andere THG-Emissionen werden vom UBA auch Kostensätze für andere Emissionen bereitgestellt. Bei den Umweltkosten der Strom- und Wärmeerzeugung unterscheidet das UBA zwischen fossilen und erneuerbaren Energien. Dabei wird deutlich, dass die Umweltkosten für die

<sup>5</sup> Bei Verwendung einer reinen Zeitpräferenzrate von 0 % werden heutige und zukünftige Schäden gleichgewichtet. Bei Verwendung einer reinen Zeitpräferenzrate von 1 % werden die der nächsten Generation (in 30 Jahren) entstehenden Schäden nur zu 74 %, die der übernächsten Generation (in 60 Jahren) entstehenden Schäden nur zu 55 % berücksichtigt. [90]

Bereitstellung von Strom und Wärme aus erneuerbaren Energien deutlich unter denen aus fossilen Energien liegen, wie folgende Beispiele für Umweltkosten in Deutschland unter Berücksichtigung einer Zeitpräferenzrate von 0 % zeigen [90]:

- Stromerzeugung durch Braunkohle: 73,61 €-Cent<sub>2020</sub>/kWh<sub>el</sub>
- Stromerzeugung durch Photovoltaik: 5,09 €-Cent<sub>2020</sub>/kWh<sub>el</sub>
- Wärmeerzeugung durch Heizöl: 22,59 €-Cent<sub>2020</sub>/kWh<sub>Endenergie</sub>
- Wärmeerzeugung durch Solarthermie: 1,03 €-Cent<sub>2020</sub>/kWh<sub>Endenergie</sub>

In Bezug auf Baustoffe gehen in die Berechnung der Umweltkosten die Zerstörung von Ökosystemen durch den Abbau von Rohstoffen, die Emission von THG und Luftschadstoffen, die Freisetzung von giftigen Stoffen in Böden und Gewässer sowie Emissionen beim Transport und der Verarbeitung mit ein. Bei der Verwendung der dargestellten Kosten ist jedoch zu beachten, dass nicht alle Umwelteffekte und auch nicht der gesamte Lebenszyklus abgebildet werden. Die Verwendungsphase der Baustoffe oder deren Rückbau, Recycling oder Entsorgung wird beispielsweise nicht berücksichtigt. Aus den Daten bzw. Kostensätzen lassen sich daher keine abschließenden Empfehlungen für konkrete Bauweisen ableiten. Zudem handelt es sich bei den ermittelten Umweltkosten um Untergrenzen, die tatsächlich entstehenden Kosten werden je nach Baustoff deutlich unterschätzt. [90]

Ober- und Untergrenzen für die Wirkungsindikatoren GWP, AP, EP, ODP und POCP liefern Schneider-Marin und Lang [97]. Weitere Kostensätze zu Umweltwirkungen werden vom Spin-Off „Sustainability Impact Metrics“ der TU Delft angegeben [101].

## 6.3. Ermittlung von Emissionen

### 6.3.1. Umweltwirkungen

Die Berechnung von Umweltwirkungen erfolgt mittels Ökobilanz (LCA) gemäß DIN EN ISO 14040 [102] und DIN EN ISO 14044 [103]. Dort werden die Grundsätze, Rahmenbedingungen, Anforderungen und Anleitungen geregelt, um potenzielle Umweltauswirkungen eines (Produkt-)Systems über seinen gesamten Lebensweg berechnen und beurteilen zu können. Die DIN EN 15978 [2] bietet darüber hinaus eine Berechnungsmethode zur Bewertung der umweltbezogenen Qualität eines Gebäudes sowie Informationen für die Kommunikation der Bewertungsergebnisse an. Grundregeln für Bauprodukte sowie die Bestimmung von Wirkungskategorien und -indikatoren sind zudem in DIN EN 15804 [104] bestimmt.

Die LCA ist gemäß DIN EN ISO 14040 in die Phasen *Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens*, *Sachbilanz*, *Wirkungsabschätzung* und *Auswertung* aufgeteilt, siehe Abbildung 9. Der Umfang einer LCA kann je nach Zielsetzung stark schwanken. Die erste Phase beinhaltet neben der Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens auch die Definition der Systemgrenze und des Detaillierungsgrads. In der folgenden Phase der Sachbilanz werden Input- und Outputdaten des zu untersuchenden Systems gesammelt und erhoben. In der dritten Phase, der Wirkungsabschätzung, werden

Größe und Bedeutung potenzieller Umweltwirkungen abgebildet und beurteilt. [102] Als Grundlage für die Berechnung von Umweltwirkungen und Ressourceneinsatz von Materialien und (Bau-)Prozessen dienen Datenbanken, welche entsprechende Datensätze zur Verfügung stellen. Hierzu zählen beispielsweise die *ÖKOBAUDAT* [105], welche vom Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) kostenfrei zur Verfügung gestellt wird und eine vereinheitlichte Datenbasis für die Ökobilanzierung von Bauwerken darstellt; die Datenbank *ecoinvent* [106], welche vom unabhängigen und nicht gewinnorientierten Zusammenschluss der Eidgenössischen Technischen Hochschulen (ETH/EPFL) in Zürich und Lausanne, des Paul Scherrer Instituts (PSI), der Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt (Empa) und der schweizerischen Forschungsorganisation im Bereich der Landwirtschaft (Agroscope) entwickelt und kostenpflichtig bereitgestellt wird; sowie die von Sphera erarbeitete *GaBi-Datenbank* [107], welche ebenfalls kostenpflichtig ist.

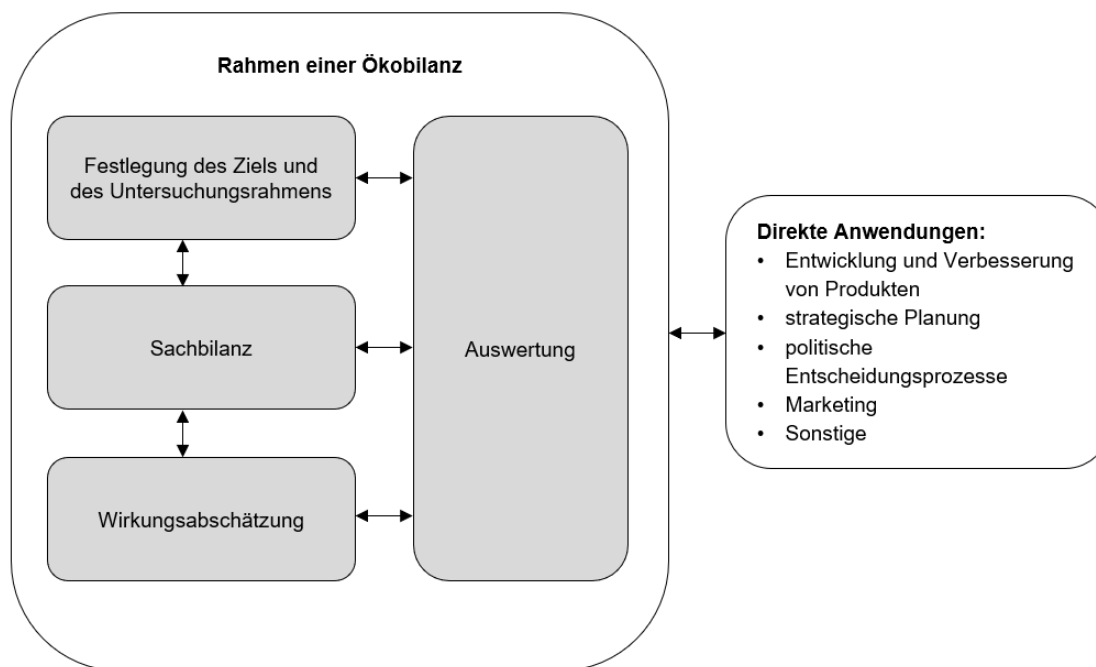


Abbildung 9. Phasen der Ökobilanz (LCA) nach ISO 14040 (Quelle: nach [102])

In der *ÖKOBAUDAT* werden Daten zu folgenden Wirkungsindikatoren bereitgestellt:

- **Treibhauspotenzial (GWP):** Das Treibhauspotenzial (GWP) beschreibt den potenziellen Beitrag eines Stoffes zur Erwärmung bodennaher Luftschichten und damit zum Treibhauseffekt. [23] Es wird im Vergleich zum Treibhauspotenzial von Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) als CO<sub>2</sub>-Äquivalente angegeben. Aufgrund unterschiedlich langer Verweildauer der Treibhausgase in der Atmosphäre muss der GWP-Wert auf einen Zeitraum bezogen werden; in der Regel wird hierfür ein Zeitraum von 100 Jahren zugrunde gelegt. Über Wirkungsfaktoren wird zudem das Ausmaß verschiedener Stoffe zum Treibhauspotenzial beschrieben. Beispielsweise hat Methan bei gleicher Masse und einem Betrachtungszeitraum von 100 Jahren den 25-fachen Wirkungsfaktor im Vergleich zu CO<sub>2</sub>. Das CO<sub>2</sub>-Äquivalent von Methan beträgt damit 25, was bedeutet, dass Methan bei gleicher



Masse 25-mal mehr zum Treibhauseffekt beiträgt als CO<sub>2</sub> (mit dem GWP-Wert von 1). [21]

- **Versauerungspotenzial (AP):** Das Versauerungspotenzial gibt den Beitrag eines Stoffes zur Versauerung der Umwelt an und wird in Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)-Äquivalenten angegeben. Luftschadstoffe wie z. B. Schwefel- und Stickstoffverbindungen reagieren in der Luft mit Wasser zu Schwefel- bzw. Salpetersäure, welche als „Saurer Regen“ auf die Erde fallen. Dies trägt zur Schädigung von Lebewesen und Gebäuden bei, außerdem werden in versauerten Böden Nährstoffe schneller ausgewaschen. Zudem können giftige Substanzen im Boden entstehen und damit Wurzelsysteme angreifen und den Wasserhaushalt der Pflanzen stören. Die Versauerung hat insbesondere das Sterben von Wäldern sowie von Fischen zur Folge. Im Bereich von Gebäuden ist vor allem Sandstein an historischen Bauwerken betroffen. [21]
- **Eutrophierungspotenzial (EP):** Überdüngung bzw. Eutrophierung beschreibt den Übergang von Böden und Gewässern von nährstoffarm (oligotrophen) zu nährstoffreich (eutrophen). Nährstoffe können bspw. bei der Herstellung von Bauprodukten, durch Auswaschung von Verbrennungsemissionen, über das Grundwasser und über Luftwege in die Umwelt gelangen. Eine steigende Konzentration von Nährstoffen in Gewässern („Umkippen von Seen“), insbesondere von Phosphor- und Stickstoffverbindungen, führt zum Sterben von Lebewesen. Das Eutrophierungspotenzial wird in Phosphat (PO<sub>4</sub>-)-Äquivalenten angegeben [21, 108]
- **Ozonschichtabbauopotenzial bzw. Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht (ODP):** Ozon (O<sub>3</sub>) kann kurzwellige UV-Strahlung absorbieren und diese richtungsunabhängig mit größerer Wellenlänge wieder abgeben. Damit schirmt die Ozonschicht große Teile der UV-A und UV-B-Strahlung der Sonne ab, schützt Flora und Fauna und verhindert eine zu starke Erwärmung der Erdoberfläche. Halogenierte Kohlenwasserstoffe, welche sich in der Atmosphäre anreichern, tragen zur Zerstörung der Ozonschicht bei und damit z. B. zu Störungen der Fotosynthese oder Tumorbildungen bei Menschen und Tieren. Das Ozonschichtabbauopotenzial bezieht sich auf die Vergleichssubstanz Fluorchlorkohlenwasserstoff CFC-11 (auch R11 genannt; chemische Formel CCl<sub>3</sub>F) und wird in R11-Äquivalenten angegeben. Werte über 1 wirken stärker, Werte unter 1 weniger ozonabbauend als R11 [21]
- **Ozonbildungspotenzial bzw. Potenzial für die Bildung von troposphärischem Ozon (POCP):** Emissionen aufgrund hoher Verkehrsaufkommen oder weiteren Luftemissionen und Spurengase wie bspw. Stickoxide und Kohlenwasserstoffe tragen in Verbindung mit UV-Strahlung zur Bildung von bodennahem Ozon bei („Sommersmog“ oder „Photosmog“). Dieses greift die Atmungsorgane an und schädigt Pflanzen und Tiere. Als Wirkungsindikator gilt die Bildung von Photosmog, welche in Ethen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)-Äquivalenten angegeben wird. Dabei erhält Ethen den Wert 1 und alle weiteren Stoffe werden darauf bezogen [21, 108]

Zu weiteren Umweltwirkungen sind in der *ÖKOBAUDAT* (noch) keine Daten verfügbar. Ergebnisse hierzu müssen zudem mit Bedacht angewendet werden, da die Unsicherheiten bei diesen Ergebnissen hoch sind oder es mit den Indikatoren nur begrenzte Erfahrungen gibt. In den Datensätzen der *ÖKOBAUDAT* gemäß der DIN EN 15804:2020-03 bzw. als deutsche Fassung EN 15804:2012+A2:2019, welche künftig im Rahmen des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen (BNB) als verbindliche Datenbasis adressiert werden, zählen zu den zusätzlichen Umweltwirkungen die nachfolgend aufgeführten Wirkungskategorien und Indikatoren; zum aktuellen Zeitpunkt sind hierfür jedoch noch keine Daten hinterlegt [105] und auch in anderen Datenbanken wie etwa der *ecoinvent* nur sehr lückenhaft vorhanden (siehe auch Kapitel 6.3.2).

- Feinstaubemissionen: Potenzielles Auftreten von Krankheiten aufgrund von Feinstaubemissionen
- Ionisierende Strahlung, menschliche Gesundheit: Potenzielle Wirkung durch Exposition des Menschen mit Uran (U235)
- Ökotoxizität (Süßwasser): potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für Ökosysteme
- Humantoxizität, kanzerogene Wirkungen: potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für den Menschen
- Humantoxizität, nicht kanzerogene Wirkungen: potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für den Menschen
- Mit der Landnutzung verbundene Wirkungen/Bodenqualität: potenzieller Bodenqualitätsindex

Angaben zu den Emissionsfaktoren der Stromerzeugung aus PV und weiteren erneuerbaren Energieträgern werden in [109] für das GWP (in CO<sub>2</sub>-Äqv.) sowie die Treibhausgase CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O bereitgestellt. Zudem werden die Emissionsfaktoren für Luftschadstoffemissionen mit Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit (Versauerung: SO<sub>2</sub>-Äqv., SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>; Staub<sup>6</sup>; Ozon<sup>7</sup>: CO und NMVOC) betrachtet.

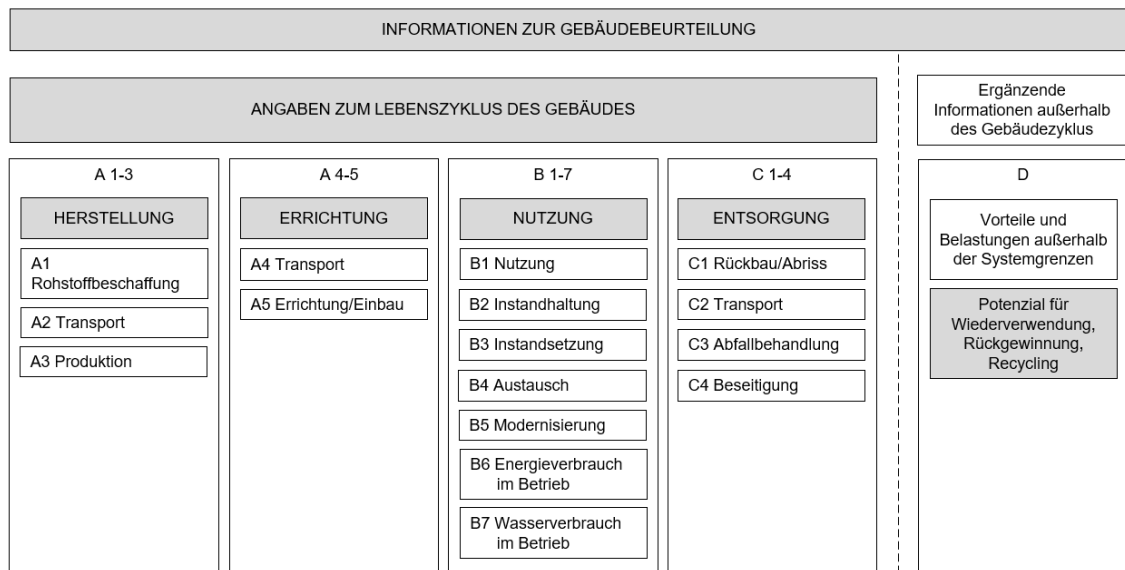
Nach der Wirkungsabschätzung wird die LCA ausgewertet, wobei das Vorgehen generell iterativ ist (siehe Abbildung 9: Pfeile zwischen den Phasen); Ergebnisse aus den einzelnen Phasen werden auch in anderen Phasen verwendet.

Die Umweltwirkungen lassen sich auf die einzelnen Lebenszyklusphasen eines Gebäudes beziehen. Diese umfassen gemäß DIN EN 15978:2011 die Herstellung (A1-3), Errichtung (A4-5), Nutzung (B1-7), Entsorgung (C1-4) und informativ Potenziale für Wiederverwendung, Rückgewinnung und Recycling (kurz: Recyclingpotenzial, D). [2] Die einzelnen Phasen sind detailliert in Abbildung 10 dargestellt.

---

<sup>6</sup> Staub umfasst hier die Gesamtemissionen an Schwebstaub aller Partikelgrößen

<sup>7</sup> CO und NMVOC sind wichtige Vorläufersubstanzen für bodennahes Ozon, das wesentlich zur Bildung von bodennahem Ozon („Sommersmog“; POCP) beiträgt [109]



**Abbildung 10. Lebenszyklusphasen eines Gebäudes (Quelle: in Anlehnung an DIN EN 15978 [2], leicht modifiziert)**

Eine Erweiterung um die Lebenszyklusphasen „A0 – Planung“, „B8 – Nutzertätigkeiten, die nicht durch B1-B7 behandelt werden“ und „D2 – potenzielle Vorteile und Belastungen aus exportierten Versorgungseinrichtungen (z. B. elektrische Energie, Wärmeenergie, Trinkwasser)“ wird in der E DIN EN 15978-1:2021-09 vorgeschlagen [110]. Diese befindet sich derzeit noch im Entwurfsstadium. Deshalb bezieht sich das Forschungsprojekt ausschließlich auf die eingeführte Fassung EN 15978:2011.

### 6.3.2. Emissionen aus Baumaterialien und Bauprodukten

Die Ermittlung von Schadstoffemissionen aus Baumaterialien und Bauprodukten erfolgt in der Regel durch Messungen. Die Planung sowie Probenentnahmestrategien und Randbedingungen für Innenraummessungen sind in verschiedenen Teilen der DIN ISO 16000 „Innenraumluftverunreinigungen“ beschrieben; z. B. in Teil 2 für Formaldehyd und in Teil 5 für VOC [111].

Zudem eignet sich die Infrarotspektroskopie zur Messung von CO, CO<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>O; die Menge von Ozon kann über die ultraviolette Absorption bestimmt werden. Für Kohlenwasserstoffverbindungen hat sich die Ermittlung mittels Flammenionisationsdetektor bewährt, für aromatische Kohlenwasserstoffverbindungen der Photoionisationsdetektor. Belastbare Messmethoden für sehr flüchtige organische Verbindungen (SVOC) sind jedoch nur begrenzt verfügbar. [58] Die Konzentration flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) hingegen kann durch direkte Messungen bestimmt werden: mittels Protonentransferreaktions-Massenspektrometrie, tragbare Gaschromatographie, photoakustische Spektroskopie, Photoionisationsdetektoren, Infrarotspektroskopie sowie mit elektronischen Nasen. Zudem kann die Messung von VOC mittels Luftprobe erfolgen, welche in einen Behälter oder auf ein Sorptionsmittel geleitet und dann ausgewertet wird. [57]

Eine Methodik zur Bewertung der Gewässerbelastung durch Auslaugung von Stoffen aus Bauprodukten während der Nutzungsphase wurde am Beispiel von Dachbahnen

und Fassadenputzen von der Ostschweizer Fachhochschule OST entwickelt und dokumentiert. [112]

Für die Bewertung von Gesundheitsauswirkungen eines Baustoffs bietet die Datenbank *ecoinvent* [106] numerische Daten zu folgenden Gesundheitsauswirkungen für die Lebenszyklusphasen Herstellung und Entsorgung:

- Humantoxizität krebserregend
- Humantoxizität nicht krebserregend
- ionisierende Strahlung
- Feinstaubausbildung

Da der Fokus der *ecoinvent* Datenbank nicht nur auf dem Bausektor, sondern auch auf anderen Sektoren wie beispielsweise Land- und Viehwirtschaft, Chemie und Kunststoff, Forstwirtschaft und Holz liegt, sind bausepezifische Daten nicht vollumfänglich vorhanden. In Bezug auf Baumaterialien und Bauprodukte sind für einzelne Wandfarben, Lacke, Bodenbeschichtungen und Dichtstoffe Daten zu den genannten Gesundheitsauswirkungen verfügbar [81].

### **6.3.3. Schall**

Schallemissionen können berechnet und gemessen werden. Das Vorgehen hierfür ist in verschiedenen Normen geregelt.

Angaben zu Vorgehen und Daten (Bauteilkataloge) für den rechnerischen Nachweis von Schallschutzanforderungen sowie für akustische Messungen liefert zum Beispiel die DIN 4109. Die Messung und Bewertung tieffrequenter Geräusche in der Nachbarschaft ist in der DIN 45680 normiert, die Prüfung des Geräuschverhaltens von Armaturen und Geräten der Wasserinstallationen in der DIN EN ISO 3822. [67]

Hinweise zur Angabe von Geräuschemissionswerten sowie für die Nachprüfung der Geräuschemissionsangabe von Maschinen und Geräten liefert die DIN EN ISO 4871 „Akustik – Angabe und Nachprüfung von Geräuschemissionswerten von Maschinen und Geräten“ [113].

Hinweise für die Berechnung von Nachhallzeiten liefert die DIN 18041. Hier wird zudem auf weitere Normen wie beispielsweise die DIN EN 12354-6:2004-04 „Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften“ oder in Bezug auf Messungen auf die DIN EN ISO 3382 „Akustik – Messung von Parametern der Raumakustik“ und die DIN EN ISO 10052 „Akustik – Messung der Luftschalldämmung und Trittschalldämmung und des Schalls von haustechnischen Anlagen in Gebäuden – Kurzverfahren“ verwiesen. [68]

### **6.3.4. Licht**

Die Licht-Richtlinie der LAI [52] enthält Erläuterungen zur Messung, Berechnung und Bewertung von Lichtemissionen. Zur Beurteilung von Lichtemissionen werden dabei zwei Bereiche unterschieden: die Raumaufhellung des Wohnbereichs, beschrieben durch die mittlere Beleuchtungsstärke, und die Blendung durch Lichtquellen. Die Licht-

Richtlinie basiert auf der aktuellen Veröffentlichung des Arbeitskreises „Lichtimmissionen“ der Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft (LiTG) e.V. „Empfehlungen für die Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen“ (Version 12.3, Stand Juni 2011) und beinhaltet zudem Empfehlungen zur Ermittlung, Beurteilung und Minderung der Blendwirkung von Photovoltaikanlagen. [52]

#### **6.3.5. Radon**

Eine erste Einschätzung zur regionalen Radonkonzentration ist mit den Radonkarten des Bundesamtes für Strahlenschutz möglich. Aufgrund der starken Varianz der verwendeten Parameter lassen sich damit allerdings keine Aussagen zu einzelnen Gebäuden oder Grundstücken ableiten. Auch kann die Radon-Konzentration in der Bodenluft an einem bestimmten Standort, zum Beispiel einem Baugrundstück oder einem einzelnen Haus, damit nicht bestimmt werden. Die tatsächliche Radonkonzentration lässt sich nur durch Messungen der bodennahen Luft oder durch Messungen der Radon-Konzentration in der Raumluft eines Gebäudes konkret ermitteln. Weitere Informationen hierzu werden vom Bundesamt für Strahlenschutz zur Verfügung gestellt. [114]

### **6.4. Methoden zur Ermittlung von Emissionen**

Um Emissionen bewerten und mit geltenden Grenzwerten und möglichen Richt-, Leit- und Referenzwerten vergleichen zu können, ist zunächst die Ermittlung der Emissionsmenge erforderlich. Mögliche Methoden sind die Berechnung (inkl. Simulation) oder die Messung von Emissionen.

Die folgenden Tabellen zeigen die möglichen Ermittlungsmethoden für die verschiedenen Emissionsgruppen, mit der die jeweilige Emissionsart im Rahmen der Gebäudeplanung und -ausführung bestimmt werden kann.

**Tabelle 9. Ausgewählte THG-Emissionen und ihre mögliche Ermittlungsmethode**

THG-Emissionen	Ermittlung der Emissionen	
	Berechnung	Messung
Kohlenstoffdioxid CO <sub>2</sub>	x <sup>8</sup>	x
Methan CH <sub>4</sub>	-	x
Lachgas N <sub>2</sub> O	-	x
Fluorierte Treibhausgase (F-Gase)	-	x
CO <sub>2</sub> -Äquivalente	x	-

**Tabelle 10. Weitere Umweltwirkungen und ihre mögliche Ermittlungsmethode**

Weitere Umweltwirkungen	Ermittlung der Emissionen	
	Berechnung	Messung
Alkane	-	x
Alkene	-	x
Ammoniak NH <sub>3</sub>	-	x
Ethen C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	-	x
Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW)	-	x
Fluorkohlenwasserstoffe CFC-11/R11	-	x
Kohlenmonoxid CO	-	x
Nitrat	-	x
Nitrit	-	x
Ozon O <sub>3</sub>	-	x
Phosphat PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	-	x
Schwefeldioxid SO <sub>2</sub>	-	x
Stickstoffdioxid NO <sub>2</sub>	-	x
Stickstoffmonoxid NO	-	x
Stickstoffoxide NO <sub>x</sub>	-	x
Sulfat	-	x
Flüchtige organische Verbindungen (VOC)	-	x
SO <sub>2</sub> -Äquivalente	x	-
PO <sub>4</sub> -Äquivalente	x	-
Ethen-Äquivalente	x	-
R11-Äquivalente	x	-

<sup>8</sup> Ermittlung von CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Raumluft, verursacht durch Nutzende, im Rahmen von thermischen Gebäudesimulationen

**Tabelle 11. Ausgewählte Schadstoff-Emissionen und ihre mögliche Ermittlungsmethode**

Schadstoffe	Ermittlung der Emissionen	
	Berechnung	Messung
Asbest	-	x
Benzol	-	x
Besonders besorgniserregende Stoffe (SVHC)	-	x
Biozide, z. B. Dichlordiphenyltrichlorethan (DDT), Pentachlorphenol (PCP), Mecoprop	-	x
Chloranisole	-	x
Chlorparaffine (CP)	-	x
Feinstaub (PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> , ultrafein)	-	x
Flammschutzmittel, z. B. HBCD, Tris(2-chlorethyl)phosphat (TCEP), Decabromdiphenylether (DecaBDE), Kurzkettige Chlorparaffine (SCCP), Borate	-	x
Flüchtige organische Verbindungen (VOC)	-	x
Formaldehyd	-	x
Holzschutzmittel, z. B. Chlordan, Chlortalonil, DDT, Hexachlorcyclohexan (HCH, Lindan), PCP	-	x
Kohlenmonoxid CO	-	x
Künstliche Mineralfasern (KMF)	-	x
Kurzkettige Chlorparaffine (SCCP)	-	x
Nitrat	-	x
Nitrit	-	x
Partikelgebundene organische Verbindungen (POM)	-	x
Phthalate (Weichmacher)	-	x
Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), z. B. Benzo(a)pyren, Naphthalin	-	x
Pollen	-	x
Polychlorierte Biphenyle (PCB)	-	x
Schimmelpilze, Schimmelsporen	-	x
Schwerflüchtige organische Verbindungen (SVOC)	-	x
Schwermetalle, z. B. Arsen, Blei, Cadmium, Nickel, Quecksilber	-	x
Sulfat	-	x
Weichmacher (Phthalate)	-	x

**Tabelle 12. Ausgewählte Schall-Emissionen und ihre mögliche Ermittlungsmethode**

Schall	Ermittlung der Emissionen	
	Berechnung	Messung
Baulärm	x	x
Nutzer:innen	x	x
Technische Anlagen	x	x
Gewerbelärm	x	x

**Tabelle 13. Ausgewählte Licht-Emissionen und ihre mögliche Ermittlungsmethode**

Licht	Ermittlung der Emissionen	
	Berechnung	Messung
vom Inneren des Gebäudes ausgehend (Innen-Beleuchtung)	x	x
Außenanlagen (z. B. Wegebeleuchtung, Beleuchtung des Gebäudes)	x	x

**Tabelle 14. Ausgewählte Strahlungs-Emissionen und ihre mögliche Ermittlungsmethode**

Strahlung	Ermittlung der Emissionen	
	Berechnung	Messung
elektromagnetische Strahlen	-	x
radioaktive Materialien	-	x
radioaktive Strahlung, z. B. Radon	-	x

Wie aus

Tabelle 14 hervorgeht, ist für ausgewählte Emissionsarten die Ermittlung der Emissionen sowohl mittels Berechnung oder Simulation als auch mittels Messung möglich. Dies betrifft zum Beispiel CO<sub>2</sub>-, Schall- und Lichtemissionen. Im Bereich der Schadstoffe und Strahlung können die Emissionen nur mittels Messung bestimmt werden. Der Aufwand und das Vorgehen der Messung variieren je nach Emissionsart; jedoch existieren für eine Reihe an Emissionen bereits Standards und Empfehlungen für Messverfahren, zum Beispiel:

- DIN EN ISO 16000 „Innenraumluftverunreinigungen“, in verschiedene Teile gegliedert [111]: Messverfahren für einzelne Stoffe bzw. Stoffgruppen im Innenraumluftbereich
- DIN EN ISO 4871 „Akustik – Angabe und Nachprüfung von Geräuschemissionswerten von Maschinen und Geräten“ [113]
- Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“ [52]: Beschreibung der Messverfahren für Raumaufhellung, Blendung und Leuchtdichte
- Radon-Fachstellen aus Österreich, Schweiz, Süddeutschland, Südtirol: „Radon: Messung und Bewertung“ [115]: Hinweise zur Durchführung von Radon-Messungen.

## 6.5. Bewertung der Emissionen

In den Kapiteln 6.1, 6.3 und 6.4 wurden die rechtlichen Rahmenbedingungen, Grenz-, Richt- und Leitwerte sowie die Ermittlung von Emissionen beschrieben. Für eine Bewertung der gebäudespezifischen Emissionen kann wie folgt vorgegangen werden:

1. Es werden die einzelnen Lebenszyklusphasen des Gebäudes aufgeführt.



2. Für möglichst jede Lebenszyklusphase werden für die verschiedenen Emissionsarten (Umweltwirkungen, Emissionen aus Baumaterialien, Schall, Licht, Strahlung/Radon) die jeweils auftretenden Emissionen ermittelt.
3. Die ermittelten Emissionen werden anhand bestehender Grenz-, Leit- oder Richtwerten bewertet.
4. Die Bewertung zeigt, in welchen Lebenszyklusphasen relevante Emissionen auftreten, die zur Realisierung eines emissionsfreien Gebäudes vermieden, reduziert oder kompensiert werden müssen.

## 6.6. Zusammenfassung

In Kapitel 6 werden grundlegende Informationen für die Ermittlung und Bewertung von Gebäude-Emissionen bereitgestellt. Dabei wird zunächst auf bestehende, rechtliche Rahmenbedingungen eingegangen, welche durch festgelegte Grenzwerte als Grundlage für die Bewertung der Emissionen dienen. Es wird deutlich, dass zu einer Vielzahl an Emissionen bereits Vorgaben vorhanden sind. Hierzu zählen zum Beispiel Schallemissionen und Schadstoffe bzw. Emissionen aus Baumaterialien. Umweltwirkungen, die von Gebäuden ausgehen und zum Klimawandel beitragen, werden in geltenden Gesetzen hingegen noch nicht in umfassender Weise lebenszyklusbasiert und gebäudespezifisch betrachtet, auch wenn globale Nachhaltigkeitsziele dies erfordern würden. Die Betrachtung von Lichtemissionen und Radon erfolgt bei der Realisierung von Gebäuden ebenfalls auf freiwilliger Basis.

Die Ermittlung der verschiedenen Emissionen ist je nach Emissionsart mittels Berechnung (Umweltwirkungen, Schall, Licht) und/oder Messung möglich (Umweltwirkungen, Schadstoffe, Schall, Licht, Radon). Eine Bewertung von auftretenden Gebäudeemissionen und deren Gegenüberstellung zu bestehenden Grenzwerten und Empfehlungen (wie zum Beispiel zu Leit- und Richtwerten bei Schadstoffen), ist damit prinzipiell auch lebenszyklusbasiert möglich.

## 7. Emissionsfreiheit

Ein emissionsfreier Gebäudesektor dient dem Schutz der Gesundheit von Menschen und Umwelt. „Emissionsfrei“ bedeutet dabei, dass vorhandene Emissionen keine schädlichen Einflüsse auf Menschen, Umwelt und Klima haben und die Aufnahmekapazität der lokalen, regionalen und globalen Umwelt nicht überschreiten (siehe Abschnitt 4).

Um einen emissionsfreien Gebäudesektor zu erreichen, sind gemäß [116] folgende Strategien in dieser Reihenfolge zu verfolgen:

1. Vermeiden
2. Reduzieren
3. Kompensieren

Hierbei ist zu beachten, dass das ‚Vermeiden‘ von schädlichen Emissionen Priorität haben muss, gefolgt von der Strategie ‚Reduzieren‘. Das ‚Kompensieren‘ von Emissionen, beispielsweise von CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Aufforsten von Wäldern, ist aufgrund der hiermit verbundenen Unwägbarkeiten (zum Beispiel Gefahr der Abholzung zu einem späteren Zeitpunkt) als nachrangige Strategie anzusehen.

### 7.1. Vermeidung von Emissionen

Prinzipiell sollte im ersten Schritt das Verursachen von schädlichen Emissionen (THG-Gase, Lärmemissionen, etc.) vermieden werden. Bei jeder Baumaßnahme ist daher zu untersuchen:

- Ist die Baumaßnahme zwingend notwendig?
- Können bestehende Strukturen (Gebäudebestand) genutzt und damit Emissionen vermieden werden?
- Falls die Baumaßnahme erforderlich ist:
  - Können damit einhergehende Emissionen (z. B. THG-, Schall- und Lichtemissionen, Schadstoffeinträge in Boden und Grundwasser) unter Berücksichtigung des Gebäudelebenszyklus vermieden werden?
  - Kann der Umfang der Baumaßnahme reduziert und damit Emissionen (z. B. THG-Emissionen) vermieden werden?

Bedingt durch Umbau- und/oder Sanierungsmaßnahmen können Emissionen auftreten. Insbesondere im Bereich der Baukonstruktion dürften diese im Hinblick auf graue Energie und graue Emissionen im Vergleich zu einem kompletten Neubau jedoch deutlich geringer ausfallen [117]; die tatsächliche Vermeidung von Emissionen ist im Einzelfall zu untersuchen.

Der suffiziente Einsatz von Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen sowie die Wiederverwendung und -verwertung von Materialien (Recycling) trägt zur Vermeidung

von THG und damit zu einem reduzierten Treibhauspotenzial bei [9, 35, 118–120]. Durch die Verwendung erneuerbarer Energien für die Strom- und Wärmebereitstellung im Gebäudebetrieb sowie für Herstellung-, Recycling- und Entsorgungsprozesse von Materialien werden ebenfalls THG-Emissionen und darüber hinaus auch NO<sub>x</sub>-, SO<sub>2</sub>- und Feinstaubemissionen vermieden [29, 35, 36, 121, 122].

Bei der Errichtung, dem Umbau und dem Abriss (auch wenn dieser aus oben genannten Gründen vermieden werden sollte) können durch lärmarme Arbeitstechniken und Baumaschinen sowie die Einhaltung von Schutzzeiten bei lärmintensiven Arbeiten negative Auswirkungen von Schallemissionen auf Menschen und Natur vermieden werden [21]. Die Einhaltung von Grenzwerten und der Einsatz von lärmarmen Anlagen und Geräten mit entsprechenden schallschutztechnischen Maßnahmen (z. B. Einhausung, Schalldämpfer, Aufstellort in Bezug auf schützenswerte Nachbarschaft, Begrünung, etc.) tragen dazu bei, dass die Schutzziele hinsichtlich Schallemissionen eingehalten und negative Auswirkungen vermieden werden [18, 21, 50, 67, 84].

Die Verwendung von schadstofffreien Baumaterialien und Bauprodukten führt dazu, dass eine Vielzahl an Schadstoffemissionen vermieden wird. Dies gilt auch für Schadstoffe im Innenraum, da diese sonst durch eine kontrollierte (mechanische) Lüftung entfernt werden müssen und damit zusätzlich energiebedingte Emissionen durch Lüftungswärmeverluste (Betriebsenergie) und Lüftungs- und Filteranlagen (graue Energie) auftreten. [21, 22, 42, 43, 123] Anstelle schadstoffhaltiger Bauprodukte sollten Alternativprodukte mit entsprechender Kennzeichnung verwendet werden (z. B. Blauer Engel, natureplus-Umweltzeichen); Hilfestellung hierfür liefern beispielsweise Informationssysteme wie *WECOBIS* und *BAUBOOK*. Dabei ist die Berücksichtigung schon in frühen Planungsphasen und insbesondere bei der Ausschreibung wichtig. [42, 64]

Indem helle, weitreichende künstliche Lichtquellen nicht in der freien Landschaft eingesetzt und die Betriebsdauer auf die notwendige Zeit begrenzt wird, können Lichtemissionen vermieden werden. Negative Auswirkungen bzw. Schäden an Vögeln können zudem vermieden werden, wenn Hochhäuser und Gebäuden mit Glasfronten nicht oder nur begrenzt beleuchtet und Skybeamer zu Zeiten des Vogelzuges abgeschaltet werden. [52]

Nachfolgende Tabelle 15 liefert eine Übersicht über ausgewählte Planungshilfen und Informationssysteme, die bei der Identifikation von Emissionen sowie deren Vermeidung und Reduktion Hilfestellung bieten.

**Tabelle 15. Auswahl an Planungshilfen für emissionsarmes Bauen**

Planungshilfe	Inhalt
<u>WECOBIS</u> [65]	Webportal mit Baustoffinformationen für gesundes und umweltgerechtes Bauen; Unterstützung bei Planung und Ausschreibung mit produktneutralen Informationen zu Inhaltsstoffen,

	problematischen Emissionen in Lebenszyklusphasen, rechtlichen Anforderungen und Produktkennzeichnungen sowie materialökologischen Anforderungen
<u>Ökologische Baustoffwahl</u> [42]	Aspekte zur komplexen Planungsaufgabe „Schadstoffarmes Bauen“, u. a. Übersicht über schadstoffhaltige Stoffgruppen, gesetzliche Vorgaben und Umweltzeichen, Darstellung von Grundlagen und Planungsstrategien am Beispiel von Biozid, Flammschutzmittel und Formaldehyd
<u>Umweltbundesamt: Rechtliche Regelungen für Bauprodukte</u> [77]	Übersicht über rechtliche Regelungen, die den Schadstoffgehalt oder die Schadstoffemissionen von Bauprodukten begrenzen, sowie über freiwillige Instrumente zur Reduktion von Schadstoffen in Bauprodukten
<u>baubook</u> [124]	Datenbank mit ökologischen Bauprodukten, Kriterien für die Bewertung von ökologischen Gebäuden
<u>Gesundes Bauen</u> [125]	Allgemeine Angaben zu Materialemissionen und Auflistung möglicher Produktlabels
<u>Gebäudecheck ecobau 2021</u> [62]	Umgang mit Schadstoffen bei Rückbauvorhaben und bei Sanierung/Erneuerung
<u>Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen</u> [52]	Maßnahmen zur Minderung von Lichtimmissionen, z. B. empfehlenswerte Leuchten, Maßnahmen zum Schutz von Insekten und Vögeln, Maßnahmen zur Verminderung und Vermeidung von Blendwirkungen von PV

## 7.2. Reduktion und Kompensation von Emissionen

Lassen sich Emissionen aufgrund von Bauaktivitäten und Gebäudenutzung nicht vermeiden, sind für Emissionsfreiheit Maßnahmen zur Reduktion und Kompensation von Emissionen erforderlich.

Dabei wird die Reduktion insbesondere von Schadstoffen in der Raumluft und von Treibhausgasen in der Atmosphäre durch Schadstoff- und Emissionssenken zunehmend diskutiert [53, 126–132]. Als Senken werden technische oder natürliche Systeme definiert, die Schadstoffe oder andere Emissionen der Umwelt entziehen [133].

Insbesondere der Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen im Bausektor wird ein großes Potenzial als Emissionssenke zugeschrieben [120, 130]. Bei Holz zum Beispiel wird während des Baumwachstums je Kubikmeter bis zu einer Tonne atmosphärisches CO<sub>2</sub> in Form von biogenem Kohlenstoff gebunden. Durch die stoffliche Verwendung als Baumaterial bleibt dieser Kohlenstoff langfristig eingelagert und wird erst am Ende des Lebenszyklus im Verrottungs- oder Verbrennungsprozess wieder freigesetzt. Durch den Holzeinschlag in nachhaltig bewirtschafteten Wäldern entsteht gleichzeitig Raum für neues Baumwachstum und weiteres CO<sub>2</sub> kann eingelagert werden. [134] Der Wissenschaftliche Beirat Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlicher Verbraucherschutz und der Wissenschaftliche Beirat Waldpolitik beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft schätzen den Beitrag zur THG-Minderung für Deutschland durch Speicherungs- und Substitutionseffekte der Forstwirtschaft und Holzverwendung auf 127 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqv. pro Jahr. Diese Kohlenstoffsenke setzt sich aus vier Kategorien zusammen [135]:

- Waldspeicher: Gebundener Kohlenstoff durch Wachstum des Baumbestands, 58 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqv./Jahr
- Substitutionspotenzial energetisch: Vermiedene Emissionen durch den Ersatz fossiler Brennstoffe, 36 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqv./Jahr
- Substitutionspotenzial stofflich: Vermiedene Emissionen durch den Ersatz fossiler Rohstoffe, 30 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqv./Jahr
- Holzspeicher: Gebundener Kohlenstoff in Holzprodukten, 3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqv./Jahr

Verglichen mit den bundesweiten THG-Emissionen im Jahr 2020 in Höhe von 739 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqv. [136] beträgt die Senkenleistung der deutschen Forst- und Holzwirtschaft rund 17 %. Mit einem durchschnittlichen Minderungspotenzial von ca. 4 t CO<sub>2</sub>-Äqv. je ha/Jahr stellen dabei der Walderhalt sowie die Vermehrung der Waldfläche durch Aufforstung und Wiederaufforstung eine effektive Klimaschutzmaßnahme dar [135].

Neben der Forst- und Holzwirtschaft können auch (Bau-)Materialien als CO<sub>2</sub>-Senke bzw. Kohlenstoffspeicher dienen [120, 126, 130, 131, 137]:

- Biobasierte Materialien, neben Holz zum Beispiel Stroh, Hanf oder Bambus: während des Wachstums erfolgt die Umwandlung von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre in Biomasse (siehe oben)
- Zementhaltige Materialien, zum Beispiel Beton und Mörtel: Bindung von CO<sub>2</sub> durch Karbonatisierung; während der Herstellung wird jedoch auch CO<sub>2</sub> frei, womit dieser Prozess eine netto-null-Rechnung darstellt und keine Senke im eigentlichen Sinn

Das Senkenpotenzial biobasierter Materialien ist dabei weitaus höher als das zementhaltiger, wie [126, 130, 131] zeigen. Als CO<sub>2</sub>-Senke wird in diesem Zusammenhang von Arehart et al. verstanden, dass CO<sub>2</sub> gebunden wird (z. B. in Wald oder Pflanzen). Gebäude und Städte sind damit eher als Kohlenstoffspeicher zu verstehen denn als Kohlenstoffsinken. [120] Durch den Einsatz von nachwachsenden, biobasierten Materialien und Bauteilen mit hoher Kohlenstoffspeicherfähigkeit können Gebäude demzufolge als dauerhafte Kohlenstoffspeicher fungieren und gleichzeitig die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Zusammenhang mit den Aktivitäten des Bausektors verringern [126].

In einigen Studien wurde zudem untersucht, inwiefern Begrünungssysteme an Gebäuden Emissionen der Umwelt entziehen und damit als Senke fungieren können. Bei den Feldversuchen wurde unterschieden in Gründächer als Gesamtsystem, Pflanzen und Substrat der Dachbegrünung, Fassadenbegrünung, Laubbäume sowie Sträucher. Das Senkenpotenzial für die jeweils untersuchten Begrünungssysteme sind in Tabelle 16 zusammengefasst. Ein „-“ in der Zelle bedeutet, dass in der angegebenen Literatur kein Wert ermittelt wurde oder nicht angegeben wird. Hier ist zu beachten, dass es sich bei den wenigsten Studien um Langzeitstudien handelt und dass das tatsächliche, jährliche Senkenpotenzial bei einer langen Nutzungsdauer wahrscheinlich niedriger liegt. Zudem ist auffällig, dass die ermittelten Werte stark streuen, insbesondere in Bezug auf das Senkenpotenzial von CO<sub>2</sub>-, NO<sub>2</sub>- und Feinstaubemissionen. Die jeweiligen Werte hängen ab von den betrachteten Pflanzenarten, Versuchsaufbauten, Betrachtungszeiträumen und klimatischen Bedingungen am Standort; die Ausweisung eines Mittelwerts ist daher nicht möglich und das jeweilige Senkenpotenzial muss individuell betrachtet werden.

Da die Leistungsfähigkeit von Senken begrenzt ist, können unter Umständen Emissionen nicht vollständig reduziert werden. Noch vorhandene negative Emissionen und deren Wirkung müssen daher kompensiert werden. Darunter wird gemäß [149] der Ausgleich durch gegenseitige Aufhebung von Wirkungen oder Ursachen verstanden.

**Tabelle 16. Senkenpotenzial von Begrünungssystemen für unterschiedliche Emissionsarten**

Emissionsart	Gründach	Dach-begrünung	Substrat	Fassaden-begrünung	Laubbäume	Literatur
CO <sub>2</sub> [kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> a]	0,31...82,82	0,06...78,81	0,18...36,04	0,44...3,18	44,4...82,2	[127, 129, 138– 145]
NO <sub>2</sub> [g NO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> a]	1,03...2,30	2,33...30,00	-	-	3,57	[128, 146, 147]
O <sub>3</sub> [g O <sub>3</sub> /m <sup>2</sup> a]	1,96...4,42	4,49...5,84	-	-	7,17	[128, 147]
Feinstaub PM <sub>10</sub> [g PM <sub>10</sub> /m <sup>2</sup> a]	1,19...4,47	1,12...1,51	-	-	2,16	[128, 147]
SO <sub>2</sub> [g SO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> a]	0,41...0,60	0,65...0,83	-	-	1,01	[128, 147]
CO [g CO/m <sup>2</sup> a]	0,41	-	-	-	-	[147]
Feinstaub PM [mg/m <sup>2</sup> a]	-	2,81...15,91	-	-	-	[148]
Reduktion Schalleintrag [dB]	5...20	-	-	2...10	-	[147]
Reduktion Umgebungs- temperatur [K]	0,25...4,00	-	-	0...3	-	[147]
Einsparung energiebedingter CO <sub>2</sub> -Emissionen [kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> a]	-	1,76...28,16	-	-	-	[138, 144]

Der grundsätzliche Erwerb von Zertifikaten, die Projekte zur Reduzierung oder Beseitigung von Emissionen aus der Atmosphäre unterstützen, um damit durch das Gebäude verursachte Emissionen zu kompensieren, wird zum Stand der Projektbearbeitung vielfach diskutiert. Die Wirksamkeit und Verlässlichkeit der Umsetzung von Maßnahmen im Rahmen von Zertifikaten wird hinterfragt und ist weiter zu untersuchen [30]. Die Auswahl von geeigneten Zertifikaten ist daher im Einzelfall hinsichtlich ihrer sozialen und ökologischen Verträglichkeit sowie ihrer gesellschaftlichen Akzeptanz detailliert zu prüfen, wobei die oben genannten aufeinander folgenden Schritte stets zu beachten sind (vermeiden – reduzieren – kompensieren).

Im Folgenden ist eine Auswahl möglicher Maßnahmen zur Reduktion und Kompensation von Emissionen aufgeführt. Die Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

- *Energiebedingte Emissionen:*

Reduktion des Energiebedarfs durch Suffizienz (Genügsamkeit; geringerer Ressourcenverbrauch durch eine Verringerung der Nachfrage nach Gütern), Konsistenz (Nutzung naturverträglicher Technologien, welche die Stoffe und Leistungen der Ökosysteme nicht zerstören, zum Beispiel erneuerbare Energien) und Effizienz (geringere Energieverluste, weniger Materialeinsatz), Produktion erneuerbarer Energie am Gebäude (zum Beispiel Photovoltaik (PV) auf dem Dach oder gebäudeintegriert als Fassadenelemente (BIPV)), Reduktion des Energiebedarfs durch Dachbegrünung, möglichst geringer Einsatz von Primärrohstoffen, Weiter- und Wiederverwendung von Baustoffen in Sinne einer Kreislaufwirtschaft, Nutzung von Rohstoffen in Kaskaden. [9, 32, 36, 122, 126, 143, 144, 150–154]

- *Emissionen in Boden und Wasser:*

Schutz von Boden und Grundwasser durch nicht befahrbare und eingezäunte Schutzflächen (insbesondere bei Baustellen), Bodenaushub während Bauphase begrünen, Aufbereitung von Abwasser, konstruktive Maßnahmen wie Dachüberstände oder Auskragungen zum Schutz der Fassade (Verzicht auf Biozide), Fassadenbegrünung als Wasserfilter. [42, 43, 147]

- *Schadstoffe und Emissionen in der Luft:*

Wirksame Absaugung und Filterung von Emissionen durch Geräte und Maschinen (Staub, NO<sub>x</sub>, etc.), Stäube erfassen und entsorgen (Feucht- oder Nassverfahren, saugende Verfahren), Gründächer und Fassadenbegrünung (CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, Feinstaub, Schwermetalle u. a., siehe auch Tabelle 16), Pflanzen im Innenraum (Filterung von Raumluft; Entfernung von Formaldehyd [57]), Einsatz von photokatalytischen Baumaterialien (in Glas, Mörtel, Stein, Asphalt, Beton)<sup>9</sup>, Absorption von VOC in Feststoffen und Filtern (Aktivkohle, Biokohle, Fasern, poröse Lehmstrukturen u. a.), Verwendung nachwachsender Rohstoffe (Holz, Bambus, Stroh, Zellulose, Kork, Hanfbeton etc.) als CO<sub>2</sub>- bzw. Kohlenstoff (C)-Speicher, Kohlenstoffaufnahme nach der Herstellung durch Karbonatisierung (Beton<sup>10</sup>). [21, 34, 53, 57, 120, 122, 126–132, 143, 147, 151]

---

<sup>9</sup> Photokatalytische Baumaterialien und Beschichtungen können sich selbst reinigen und der Umgebung Schadstoffe entziehen; die Produkte basieren auf photokatalytischen Eigenschaften von Metalloxiden wie TiO<sub>2</sub>, welche als dünne Schicht auf die Oberflächen von Materialien aufgebracht oder beigemischt werden. Durch chemische Reaktion (Katalyse) der Metalloxide mit Schadstoffen kann dies zu einer Verringerung von NO<sub>x</sub> und einigen VOC führen. Allerdings besteht weiterer Forschungsbedarf bezüglich der Schadstoffreduzierung unter realen Bedingungen, der Vermeidung geringer Wirkweise und der Reaktion zu schädlichen Verbindungen. [53]

<sup>10</sup> Bei der Herstellung von Beton wird CO<sub>2</sub> frei; der positive Effekt der Karbonatisierung ist im Einzelfall zu prüfen.



- *Akustische Emissionen (Schall):*  
Schallabsorber, Schalldämpfer, Einhausungen, Lärmschutzwände, lärmarme Arbeitstechniken und Baumaschinen, Baumstreifen, Gründächer. [18, 51, 147, 155]
- *Lichtemissionen:*  
Notwendigkeit der Beleuchtung abklären, Lichtstreuung vermeiden, Beleuchtungsstärke an tatsächliche Lichtverhältnisse anpassen, Bewegungsmelder, begrenzte Einschaltzeiten, unschädliche Lichtfarben und Orientierung (Artenschutz), keine Blendeffekte, Abdunkeln großer und von innen beleuchteter Fensterflächen durch Jalousien, Rollos etc. [51, 52]

### 7.3. Zusammenfassung

Die Realisierung emissionsfreier Gebäude ist zum Schutz von Klima, Umwelt und menschlicher Gesundheit essenziell. Dabei liegt es nahe, schädliche Emissionen zunächst so weit wie möglich zu vermeiden und zu reduzieren. Können schädliche Emissionen nicht vermieden werden, sollten diese durch geeignete Maßnahmen kompensiert werden (zum Beispiel durch Aufforstungsprojekte, Gebäudebegrünung und/oder den Einsatz von nachwachsenden/absorbierenden/katalytischen Baumaterialien).

Durch die lebenszyklusbasierte Betrachtung von Gebäuden können Emissionen bereits vor ihrem Auftreten identifiziert werden. Bei einer frühzeitigen Betrachtung von Emissionen können zudem Vermeidungs- und Reduktionspotenziale erkannt und in der Gebäudeplanung umgesetzt werden.

Suffizienz-, Konsistenz- und Effizienzstrategien helfen dabei, den Ressourceneinsatz und damit verbundene Emissionen einzugrenzen. Neben der Nutzung von bestehenden Gebäuden und Baukonstruktionen spielt dabei insbesondere die Nutzung erneuerbarer Energien und die Verwendung nachwachsender Rohstoffe eine große Rolle für den Klimaschutz. Zudem ist auf eine schadstofffreie Materialwahl von Beginn an zu achten, um gesundheitliche Beeinträchtigungen und Schäden in der Umwelt zu vermeiden.

Kompensationsmaßnahmen sollten erst an letzter Stelle stehen, um Emissionsfreiheit zu erreichen. Werden zum Beispiel keine Schadstoffe verbaut, so müssen diese später auch nicht der Umgebung wieder entzogen werden. Das Senkenpotenzial von Gebäudebegrünung ist zudem im Einzelfall zu betrachten, da wissenschaftliche Untersuchungen sehr projektspezifische Ergebnisse liefern. Rechnerische Gutschriften und der Erwerb von Zertifikaten sollten dahingehend kritisch hinterfragt werden, ob die durch das Gebäude verursachten Emissionen damit auch tatsächlich aufgehoben oder Bilanzierungsgrenzen nur verschoben werden.

## 8. Anwendung eines Fallbeispiels

In den Kapiteln 4 bis 7 wurden die für den Gebäudesektor relevanten Emissionen und deren mögliche Ermittlung und Bewertung beschrieben. Im nachfolgenden Kapitel wird die lebenszyklusbasierte Bewertung von Gebäudeemissionen an einem konkreten Bauvorhaben erläutert.

### 8.1. Beschreibung des Objekts

Als Fallbeispiel wird der Neubau eines Informations- und Beratungszentrums für nachhaltige Rohstoffe und erneuerbare Energien am Technologie- und Förderzentrum in Straubing, das „NAWAREUM“, untersucht.



Abbildung 11. Ansicht des NAWAREUM von Süd-Ost (Fotografie: Herbert Stolz)

Das rechteckige Gebäude verfügt über ein Unter-, Erd- und Obergeschoss. Der Eingangsbereich wird von einem Vordach überdeckt. Alle tragenden Bauteile im UG sind in Stahlbeton ausgeführt, ebenso die Treppenhäuser und Aufzugsschächte. Die Außenwände bestehen aus elementierten Holz-Rippenplatten in Brettsperrholzbauweise, die Decke über EG ist als Holz-Beton-Verbunddecke vorgesehen. Den oberen Abschluss bildet ein 3° nach Norden geneigtes Dach aus Holz-Rippenplatten mit Solarthermie/Photovoltaik-Kollektoren und extensiver Begrünung. Wesentliches Gestaltungselement für die Südfassade ist eine Komposition aus freistehenden Holzstämmen. [156]

Im UG sind Technikräume und Werkstätten angeordnet. Im EG befinden sich Ausstellungsflächen und ein Bistro. Im Zentrum des Gebäudes befindet sich ein über

drei Geschosse reichender Ausstellungskern mit Treppenanlage. Die Geschossdecken bestehen in diesem Bereich aus Brettspertholz. Die Treppen sind – abgesehen von den beiden nordseitigen Fluchttreppen und der Foyertreppe ins UG – als Holzkonstruktion aus Brettspertholz mit Blockstufen und tragenden Brüstungen gefertigt. Im OG befinden sich neben weiteren Ausstellungsflächen Büros und Aufenthaltsräume. [156, 157]

Der geplante energetische Standard entspricht den Anforderungen des Passivhausbaus. Die Bereitstellung von Heiz- und Kühlenergie erfolgt über Geothermie aus Erdwärmesonden in Verbindung mit einer Wärmepumpe. Diese werden ergänzt durch hocheffiziente Wärmerückgewinnungsanlagen und eine sorptionsgestützte Klimatisierung, d. h. eine 'solare Kühlung' unter Einsatz von Solar- und Photovoltaikanlagen. [157]

## 8.2. Grundlagen

Die Ermittlung und Bewertung der Gebäudeemissionen erfolgt auf Basis folgender Unterlagen und Randbedingungen:

- Planunterlagen zum vorliegenden Objekt (Grundrisse, Ansichten, Schnitte), Stand Ausführungsplanung, erstellt von Dömges Architekten und erhalten vom Staatlichen Bauamt Passau
- Angaben zur Technischen Gebäudeausstattung (TGA) und Endenergiebedarf: Erläuterungsbericht, Berechnungen, Stand 2015, erstellt von Ottitsch GmbH & Co. KG und erhalten vom Staatlichen Bauamt Passau
- Leistungsverzeichnisse der einzelnen Gewerke, erhalten vom Staatlichen Bauamt Passau
- Schallschutzgutachten; Stand 2015: Raumakustik, Bauakustik, Außenlärm, Stand 2019: Messungen Dauerausstellung, erstellt von hock farny ingenieure und erhalten vom Staatlichen Bauamt Passau
- Angaben zur Außenbeleuchtung, am 02.11.2021 per E-Mail erhalten von Herrn Meinert, TSP-Technische Systemplanung GmbH und am 15.11.2021 per E-Mail erhalten von Herrn Kupilik, Haustechnik NAWAREUM
- Angaben zu den Außenanlagen, am 02.11.2021 per E-Mail erhalten von Herrn Kitzmüller, Landschaftsarchitekt, Staatliches Bauamt Passau
- Datenbank ÖKOBAUDAT, Version: 2021-II vom 25.06.2021 [105]
- Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB), Stand 24.02.2017 [158]
- Angenommene Nutzungsdauer NAWAREUM: 70 Jahre
- Bezugsfläche: Nettogrundfläche (NGF), 4.322 m<sup>2</sup>

## 8.3. Emissionen des Fallbeispiels

Basierend auf den vorliegenden Unterlagen zum Fallbeispiel ergeben sich die nachfolgenden Emissionen für das NAWAREUM.

### 8.3.1. Treibhausgas-Emissionen und weitere Umweltwirkungen

Für die Ermittlung der Treibhausgas-(THG)-Emissionen und weiteren Umweltwirkungen wird eine Ökobilanz (LCA) erstellt. Das Vorgehen hierfür ist in Kapitel 6.2 beschrieben. Da die *ÖKOBAUDAT* Datensätze zu Baumaterialien, Bau-, Transport-, Energie- und Entsorgungsprozessen mit Bezug auf Deutschland bereitstellt und barrierefrei zugänglich ist, wird diese Datenbank verwendet.

Neben dem Treibhauspotenzial (GWP) werden für das NAWAREUM das Versauerungspotenzial (AP), das Eutrophierungspotenzial (EP), das Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht (ODP) sowie das Potenzial für die Bildung von troposphärischem Ozon (POCP) berechnet. Im Weiteren werden die Lebenszyklusphasen A1-3 (Herstellung), B4 (Austausch), B6 (Energieverbrauch im Betrieb), C3 und C4 (Entsorgung) und D (Recyclingpotenzial) dargestellt. Die einzelnen Herstellungsphasen sowie die übrigen Phasen (Errichtung: A4, A5; Nutzung: B1-5, B7; Entsorgung: C1, C2) können aufgrund fehlender Daten nicht ausgewiesen werden.

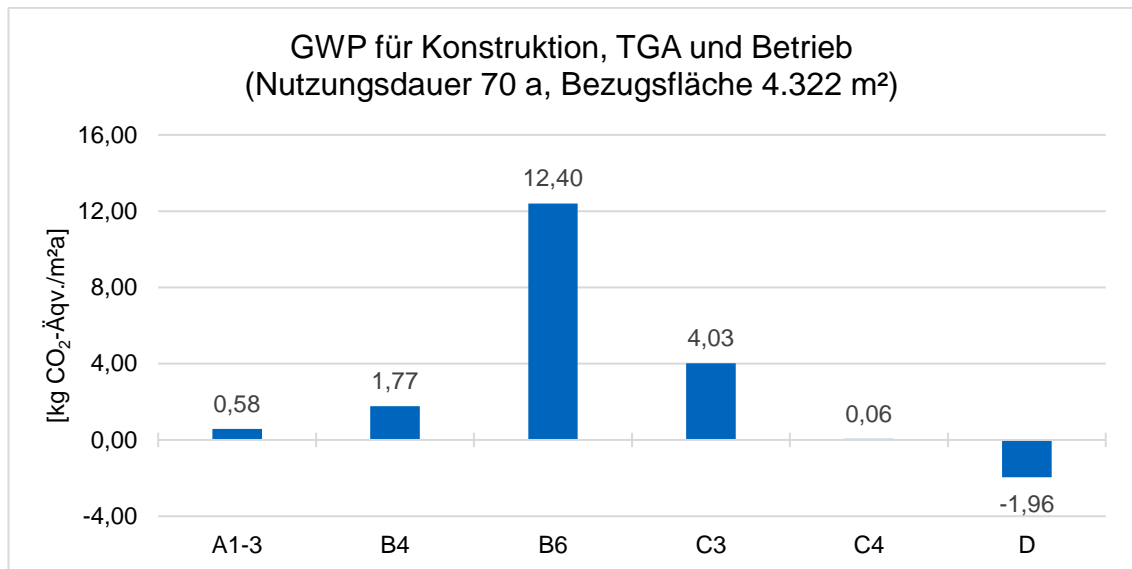
Die Ergebnisse sind in den nachstehenden Abbildungen (Abbildung 12 und Abbildung 16) dargestellt und in Tabelle 17 zusammengefasst. Die Werte ergeben sich für eine angenommene Nutzungsdauer von 70 Jahren (a) und eine Bezugsfläche von 4.322 m<sup>2</sup>.

Eine detaillierte Auflistung der Bauteile und Baustoffe je Wirkungskategorie befindet sich im Anhang.

Über die gesamte Nutzungszeit ergibt sich für das NAWAREUM für die Herstellung, Nutzung und Entsorgung ein GWP von rund 5.700.346 kg CO<sub>2</sub>-Äqv. bzw. rund 5.700 t CO<sub>2</sub>-Äqv. Bezogen auf eine Nutzungsdauer von 70 Jahren und eine Fläche von 4.322 m<sup>2</sup> entspricht dies 18,84 kg CO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>2</sup>a. Unter Berücksichtigung des Recyclingpotenzials D reduziert sich dieser Wert auf 16,89 kg CO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>2</sup>a. Aus Abbildung 12 wird ersichtlich, dass die Lebenszyklusphase B6 (Energieverbrauch im Betrieb) bei konventioneller Stromnutzung mit 12,40 kg CO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>2</sup>a den mit Abstand größten Anteil, nämlich 66 % des gesamten GWP ohne D, ausmacht<sup>11</sup>. Der Anteil der Konstruktion am GWP beträgt ohne D nur 23 %. Dies ist u. a. auf den hohen Einsatz von nachwachsenden Baumaterialien zurückzuführen. Den größten Anteil am GWP in Bezug auf Konstruktion und TGA haben das Photovoltaiksystem, der verbaute Stahlbeton für Unterzüge, Decken, Außenwände (UG), Bodenplatte (UG, EG) und Fundamente, die XPS-Dämmung im Bereich der Bodenplatte sowie der Zementestrich (siehe Auflistungen im Anhang).

---

<sup>11</sup> In dieser Variante wurde für die Stromversorgung der Datensatz „Strom Mix 2018“ angesetzt, da zum Zeitpunkt der Berechnung die Stromart (konventionell oder Ökostrom) noch nicht festgelegt war; das NAWAREUM wird final jedoch mit Ökostrom betrieben, siehe hierzu die Ergebnisse in Kapitel 8.4.



**Abbildung 12. Treibhauspotenzial (GWP) für Konstruktion, TGA und Betrieb des NAWAREUM**

Mit einem Anteil des Betriebs (B6) am GWP von ca. zwei Dritteln ist das NAWAREUM vergleichbar mit DGNB-zertifizierten Bürogebäuden. Bezogen auf die gesamten THG-Emissionen liegt es mit ca. 18,8 kg CO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>2</sup>a deutlich unter dem Durchschnitt von 33,8 kg CO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>2</sup>a und innerhalb der 15 % der Gebäude mit dem geringsten GWP (15. Perzentile: 24,5 kg CO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>2</sup>a)<sup>12</sup>. Bezogen auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen (GWP bzw. CO<sub>2</sub>-Äqv.) für Herstellung, Ersatz, Entsorgung und Recycling der Konstruktion („graue Emissionen“) in Höhe von 4,5 kg CO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>2</sup>a liegt das NAWAREUM deutlich unter dem Mittelwert für Bürogebäude (9,1 kg CO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>2</sup>a). [159] Verglichen mit einer weiteren Studie von M. Röck et al., bei der aus über 650 LCA-Studien 238 Gebäude ausgewertet wurden, liegen die grauen Emissionen ebenfalls unter dem Durchschnittswert für neue Bürogebäude, welcher gemäß [36] bei ca. 12 kg CO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>2</sup>a liegt, und auch unter dem Durchschnitt typischer Wohnungsneubauten (10-16 kg CO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>2</sup>a) [160]. Dabei ist zu beachten, dass sich die genannten Durchschnittswerte der Vergleichsgebäude auf eine Nutzungsdauer von 50 Jahren beziehen. Ein Vergleich mit dem NAWAREUM (Nutzungsdauer 70 Jahre) ist daher nur annähernd möglich, da sich je nach Nutzungsdauer unterschiedliche Austauschzyklen der Komponenten für Baukonstruktion und TGA ergeben und sich die verursachten Emissionen auf die jeweilige Nutzungsdauer beziehen. Bezogen auf eine Nutzungsdauer von 50 Jahren ergeben sich für das NAWAREUM geringfügig höhere Werte, da die verursachten Emissionen auf einen kleineren Zeitraum verteilt werden.

In Bezug auf das Versauerungspotenzial (AP) ergeben sich für die Herstellung, Nutzung und Entsorgung insgesamt rund 9.231 kg SO<sub>2</sub>-Äqv. Bezogen auf eine Nutzungsdauer von 70 Jahren und eine Fläche von 4.322 m<sup>2</sup> entspricht dies 3,05E-02 kg SO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>2</sup>a bzw. unter Berücksichtigung des Recyclingpotenzials D 2,80E-02 kg SO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>2</sup>a. In Abbildung 13 ist ersichtlich, dass der Anteil der Phasen A1-3 (Herstellung) und B4

<sup>12</sup> In der Auswertung der Mittelwerte für das GWP wurden 50 DGNB-zertifizierte Neubauten, davon 46 Bürogebäude und 4 Wohngebäude, ausgewertet und hinsichtlich ihres GWP bewertet. Dabei handelt es sich um Gebäude in Holz-/Holz-Hybridbauweise (3), Massivbauweise (25) und Stahlbeton-Skelettbauweise (22). [159]

(Austausch) im Vergleich zu B6 deutlich höher ist als beim GWP; der Anteil der Konstruktion und TGA beträgt für das AP ohne D 52 %. Die hohen Werte sind insbesondere auf die Photovoltaik- und Solaranlage zurückzuführen sowie die verbauten Baustoffe Beton und Brettsperrholz (siehe Auflistungen im Anhang).

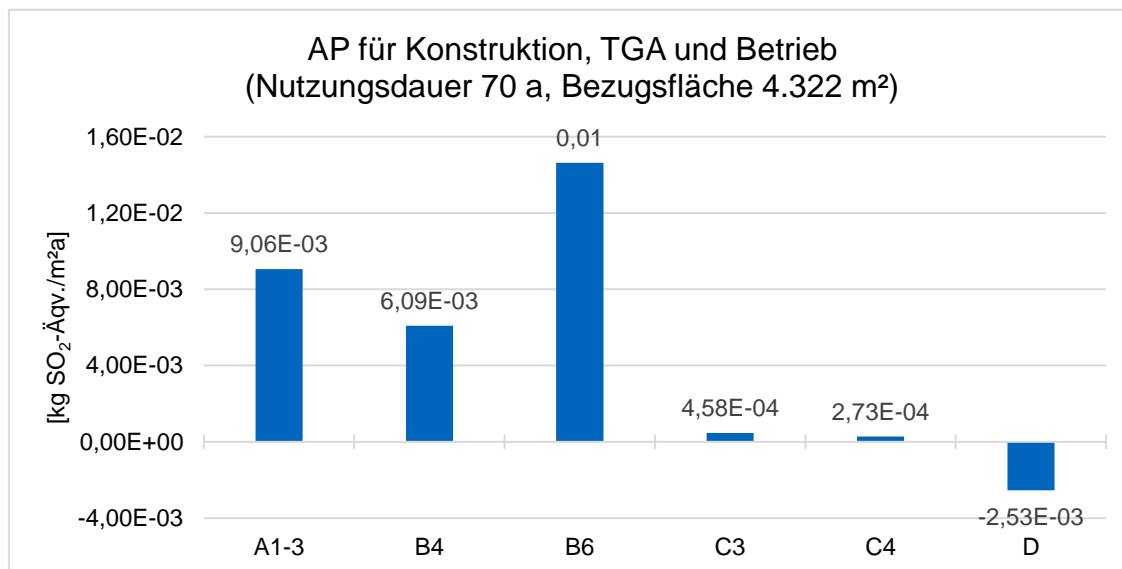


Abbildung 13. Versauerungspotenzial (AP) für Konstruktion, TGA und Betrieb des NAWAREUM

Hinsichtlich des Eutrophierungspotenzials (EP) sind dem NAWAREUM über den Lebenszyklus in Summe rund 1.544 kg PO<sub>4</sub>-Äqv. (ohne D) zuzuschreiben, siehe Abbildung 14. Dies entspricht 5,10E-03 kg PO<sub>4</sub>-Äqv./m²a für Herstellung, Nutzung und Entsorgung. Unter Berücksichtigung des Recyclingpotenzials reduziert sich dieser Wert auf 4,72E-03 kg PO<sub>4</sub>-Äqv./m²a. Auch hier machen Konstruktion und TGA mit 43 % fast die Hälfte am Gesamtergebnis aus. Maßgebend in Bezug auf die verbauten Baustoffe sind hierbei das Photovoltaiksystem, das Brettsperrholz, Beton inklusive Bewehrungsstahl und die Dreifachverglasung. Zudem ist auf das Vegetationssubstrat im Vergleich zu den anderen Bauteilen und Baustoffen ein hoher Anteil am EP zurückzuführen (siehe Auflistungen im Anhang).

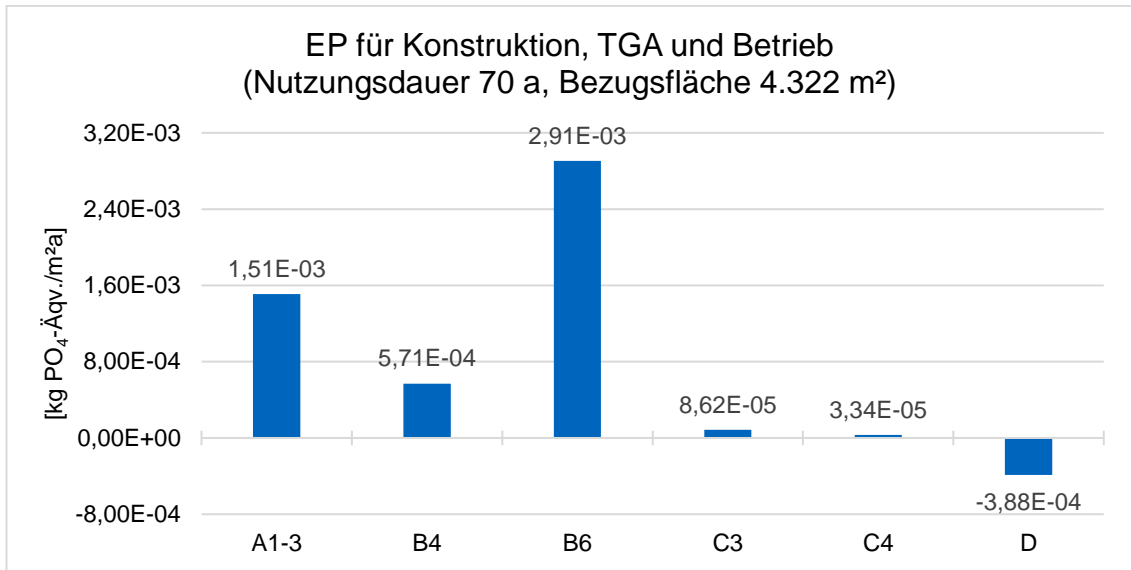


Abbildung 14. Eutrophierungspotenzial (EP) für Konstruktion, TGA und Betrieb des NAWAREUM

Für die gesamte Nutzungsdauer von 70 Jahren beträgt das Ozonabbaupotenzial (ODP) für das NAWAREUM 1,34E-03 R11-Äqv. (Phasen A1-3, B4, B6, C3, C4). Dies entspricht einem ODP von 4,43E-09 R11-Äqv./m²a, wovon maßgeblich die Herstellung (A1-3) und der Ersatz (B4) mit nahezu 100 % eine Rolle spielen, siehe Abbildung 15. Der Betrieb des Gebäudes (B6) hat einen vernachlässigbaren Anteil von 0,01 %, das Recyclingpotenzial (D) ist mit -1,29E-12 R11-Äqv./m²a ebenfalls verschwindend gering. Hauptverursacher in den Phasen A1-3 und B4 sind die Dach- und Dichtungsbahn, der verbaute Beton und die Strom-Wärmepumpe (siehe Auflistungen im Anhang).

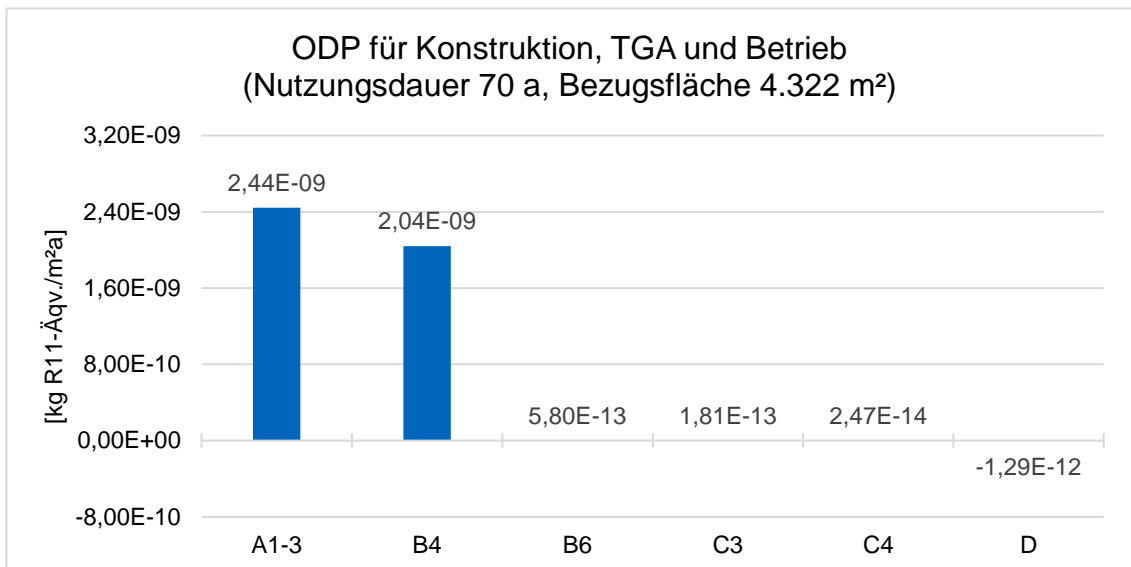


Abbildung 15. Abbaupotenzial hinsichtlich der stratosphärischen Ozonschicht (ODP) für Konstruktion, TGA und Betrieb des NAWAREUM

Für das POCP spielt im Vergleich zum AP, EP und ODP die Phase B6 eine Rolle; hier macht der Betrieb mit 37 % mehr als ein Drittel am Gesamtergebnis aus. Insgesamt ergeben sich für das POCP des NAWAREUM rund 1.003 kg Ethen-Äqv. bzw.

3,32E-03 kg Ethen-Äqv./m<sup>2</sup>a ohne D und 3,13E-03 kg Ethen-Äqv./m<sup>2</sup>a unter Berücksichtigung von D. Aus Abbildung 16 ist erkennbar, dass auf die Herstellung (A1-3) und den Betrieb (B6) ähnlich hohe Ethen-Äqv. zurückgehen. In Bezug auf die Konstruktion sind für das POCP neben dem Photovoltaiksystem die Rohre für die Fußbodenheizung, der verbaute Bewehrungsstahl, die Dachdämmung aus Holzfaserdämmstoff, die Deckenkonstruktionen aus Beton und Brettspertholz sowie die XPS-Dämmung im Bereich der Bodenplatte verantwortlich (siehe Auflistungen im Anhang).

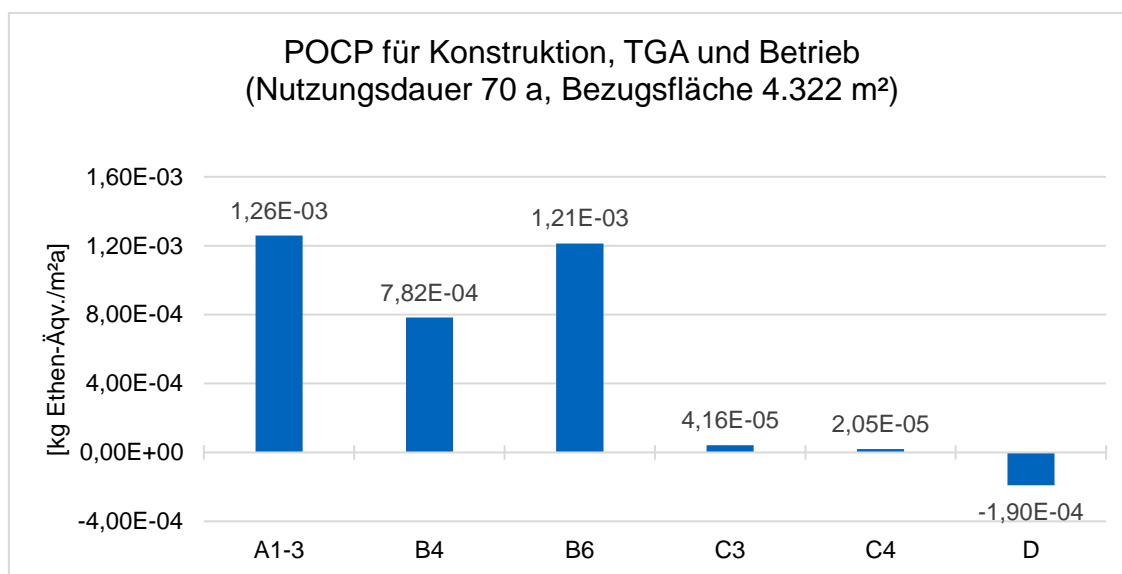


Abbildung 16. Potenzial für die Bildung von troposphärischem Ozon (POCP) für Konstruktion, TGA und Betrieb des NAWAREUM

Die Ergebnisse der Umweltwirkungen GWP, AP, EP, ODP und POCP sind für die einzelnen Lebenszyklusphasen in Tabelle 17 aufgelistet. Es wird ersichtlich, dass nicht nur Emissionen in Bezug auf das GWP, sondern auch auf weitere Umweltwirkungen auftreten.

Tabelle 17. Treibhauspotenzial und weitere Umweltwirkungen für das NAWAREUM bei einer Nutzungsdauer von 70 Jahren

	Herstellung	Nutzung		Entsorgung		Recycling
	A1-3	B4	B6	C3	C4	D
<b>GWP</b>	0,58	1,77	12,40	4,03	0,06	-1,96
<b>AP</b>	9,06E-03	6,09E-03	0,01	4,58E-04	2,73E-04	-2,53E-03
<b>EP</b>	1,51E-03	5,71E-04	2,91E-03	8,62E-05	3,34E-05	-3,88E-04
<b>ODP</b>	2,43E-09	2,00E-09	5,80E-13	1,81E-13	2,47E-14	-1,29E-12
<b>POCP</b>	1,26E-03	7,82E-04	1,21E-03	4,16E-05	2,05E-05	-1,90E-04



### 8.3.2. Schadstoffe

Wie in Abschnitt 8.3.1 dargestellt, sind zum aktuellen Zeitpunkt mittels einer LCA keine Angaben zu Schadstoffen möglich. Produktspezifische Angaben zu Schadstoffgehalten der eingesetzten Baumaterialien (z. B. Formaldehyd, VOC, Biozide) in Form von Datenblättern liegen für die Betrachtung im Rahmen dieses Forschungsprojekts nicht vor; Messungen zur Ermittlung des Schadstoffgehalts in der Innenraumluft wurden nicht durchgeführt. Standortabhängige Auswirkungen wie beispielsweise Auswaschungen aus Außenbauteilen wie der Fassade oder das Eindringen von Emissionen aus Baustellenstaub in Boden und (Grund-)Wasser wurden nicht erfasst.

Aussagen zu möglichen Emissionen aufgrund der Gebäudenutzung durch Möblierung, Reinigung des Gebäudes, technische Ausstattung/Einrichtung etc. (z. B. Feinstaub aus Tintenstrahldruckern, Emissionen von Reinigungsmitteln und durch die Nutzer:innen selbst) sind ebenfalls wegen fehlender Daten nicht möglich.

Aussagen zu gegebenenfalls vorhandenen Schadstoffemissionen können im Rahmen dieser Untersuchung aufgrund der genannten Gründe nicht getätigt werden. Für eine nachträgliche Bewertung hinsichtlich Schadstoffemissionen sind demzufolge eine genaue Dokumentation der eingesetzten Materialien und Bauprodukte mit Angabe der stofflichen Bestandteile (schadstofffrei, schadstoffarm, schadstoffbelastet) und im besten Fall Raumluftmessungen erforderlich.

### 8.3.3. Schall

Für das NAWAREUM liegen schalltechnische Gutachten zur Raumakustik, Bauakustik und zu anlagenbezogenen Geräuschen, erstellt von hock farny ingenieure, vor.

Die Anforderungen an die Nachhallzeiten, welche in der Nutzungsphase des Gebäudes relevant sind, werden demnach in sämtlichen Räumen unter Beachtung der angegebenen raumakustischen Maßnahmen eingehalten.<sup>13</sup>

Ebenso relevant in der Nutzungsphase ist der Schutz vor Belästigungen durch Schallübertragungen, welcher durch die Baukonstruktionen ebenfalls gewährleistet wird.<sup>14</sup>

Grundlage für die Emissionsprognose für anlagenbezogene Geräusche ist folgende Betriebscharakteristik<sup>15</sup>:

- Lieferverkehr mit max. 3 LKW pro Tag, davon max. 1 LKW mit Kühlaggregat
- Verladung der Lieferung mit Elektrostapler, tägliche Betriebszeit max. 45 Minuten
- Café/Bistro mit Freischankfläche und Sitzplätzen im Außenbereich
- Parkplatz für Besucher:innen, Fahrbahnoberfläche aus Asphalt, keine Busse

---

<sup>13</sup> hock farny ingenieure: „Prognose und Beurteilung raumakustischer Parameter sowie Erarbeitung von Maßnahmen zur Verbesserung der Akustik“, Stand 28.08.2015 und „Messung der Nachhallzeit während der Bauphase und Vergleich mit den Anforderungen nach DIN 18041“, Stand 08.01.2019

<sup>14</sup> „Nachweis des gebäudeinternen Schallschutzes im Hochbau“, Stand 04.09.2015

<sup>15</sup> hock farny ingenieure: „Prognose und Beurteilung anlagenbezogener Geräusche“, Stand 29.09.2015

- Belüftungsanlagen im Untergeschoss mit einem Lüftungsschacht, zwei Ansaugtürme und ein Fortluftkamin an der Westseite des Gebäudes
- Kühlturm an der Westseite des Gebäudes

Darauf basierend wurden Berechnungen zur Schallausbreitung und zur Ermittlung der prognostizierten Beurteilungs- und Spitzenpegel durchgeführt; alle ermittelten Pegel unterschreiten die Vorgaben der relevanten TA Lärm.<sup>15</sup>

Angaben zu Schallemissionen während der Errichtung des Gebäudes oder bei einem zukünftigen Umbau/Rückbau/Abriss (z. B. Baulärm durch eingesetzte Baumaschinen und Bauprozesse) sind nicht vorhanden.

#### **8.3.4. Licht**

Zur Beleuchtung liegen folgende qualitative Angaben für die Nutzungsphase vor (siehe Abschnitt 8.2):

- Leuchten auf der Ost-, Nord- und Südseite in 4 m Höhe
- Vordachleuchten unter dem Vordach Süd/Süd-Ost und an den Ausgängen im Dachbereich
- Steuerung: individuell einstellbar; Anschaltung abhängig vom Eintreten der Dämmerung bis in die Abendstunden (ca. 21-22 Uhr, noch festzulegen), danach automatische Abschaltung

Eine Bewertung der Lichtemissionen ist auf dieser Grundlage ohne weitere Berechnungen/Messungen nicht möglich. Generell sollten daher in Planungsprozessen und bei der Realisierung von Gebäuden die Auswirkungen von Beleuchtung, insbesondere im Außenraum von Gebäuden/den Außenanlagen, mitberücksichtigt werden.

#### **8.3.5. Strahlung**

Es liegen keine Messungen zur Radonbelastung für das NAWAREUM vor.

Mithilfe der Karten zur „Radon-Konzentration im Boden“ und „Radon-Potenzial“ des Bundesamts für Strahlenschutz lässt sich nur eine erste Einschätzung zur Radonsituation geben. Demnach besteht für das Gebiet, auf dem das NAWAREUM errichtet wurde, eine eher hohe Belastung bzw. ein eher hohes Radon-Potenzial. Eine Aussage zum Gebäude/Grundstück kann daraus aber nicht abgeleitet werden, da die für die Prognose verwendeten Parameter lokal stark variieren können. Wie hoch das Radon-Vorkommen am Standort tatsächlich ist, lässt sich nur durch Messungen der bodennahen Luft oder durch Messungen der Radon-Konzentration in der Raumluft konkret ermitteln. [114]

Da Radonmessungen für das NAWAREUM nicht vorliegen, ist eine detailliertere Aussage zur Radonbelastung nicht möglich. Um die Gesundheit von Menschen in Gebieten mit hohem Radon-Vorkommen zu schützen, sollte die Überprüfung der standortspezifischen Radonbelastung bereits in frühen Planungsphasen abgeschätzt und bei Bedarf messtechnisch bestimmt werden.

### 8.3.6. Übersicht der Emissionen im Lebenszyklus

Die Ergebnisse zu den ermittelten Emissionen des NAWAREUMs und ihrer Bewertung über den gesamten Lebenszyklus sind in nachstehender Tabelle 18 dargestellt.

Tabelle 18. Übersicht der Emissionen im Lebenszyklus für das NAWAREUM

Lebenszyklusphase	Angaben zum Lebenszyklus des Gebäudes														Ergänzende Informationen außerhalb des Gebäudezyklus		
	Herstellung			Errichtung		Nutzung							Entsorgung		Recycling		
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
	Rohtstoffbeschaffung	Transport	Produktion	Transport	Errichtung/Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Instandsetzung	Austausch	Modernisierung	Energieverbrauch	Wasserverbrauch	Rückbau/Abriss	Transport	Abfallbehandlung	Beseitigung	Potenzial für Wiederverwendung, Rückgewinnung, Recycling
<b>THG-Emissionen</b>	+	+	+	--	--	--	--	--	+	--	+	--	--	--	+	+	+
Treibhauspotenzial (GWP)	+	+	+	--	--	--	--	--	+	--	+	--	--	--	+	+	+
<b>weitere Umweltwirkungen</b>	-	-	-	--	--	--	--	--	-	--	-	--	--	--	-	-	-
Versauerungspotenzial (AP)	-	-	-	--	--	--	--	--	-	--	-	--	--	--	-	-	-
Eutrophierungspotenzial (EP)	-	-	-	--	--	--	--	--	-	--	-	--	--	--	-	-	-
Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht (ODP)	-	-	-	--	--	--	--	--	-	--	-	--	--	--	-	-	-
Potenzial für die Bildung von troposphärischem Ozon (POCP)	-	-	-	--	--	--	--	--	-	--	-	--	--	--	-	-	-
<b>Schadstoffe</b>	--	--	--	--	--	--	--	--	-	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>Schall</b>	o	o	o	--	--	++	--	--	--	--	++	o	--	--	o	o	o
Baulärm	o	o	o	--	--	o	--	--	--	--	o	o	--	--	o	o	o
Raumakustik Büro	o	o	o	o	o	++	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Raumakustik Seminarraum	o	o	o	o	o	++	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Raumakustik Bistro/Küche	o	o	o	o	o	++	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Raumakustik Ausstellung im OG	o	o	o	o	o	++	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Trittschall Decken, Treppen	o	o	o	o	o	++	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Luftschall Decken, Wände	o	o	o	o	o	++	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Haustechnische Anlagen	o	o	o	o	o	++	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Anlagenbezogene Geräusche	o	o	o	o	o	++	o	o	o	o	++	o	o	o	o	o	o
<b>Licht</b>	o	o	o	o	--	-	o	o	o	o	o	o	-	o	o	o	o
Beleuchtung Baustelle	o	o	o	o	--	o	o	o	o	o	o	o	--	o	o	o	o
Beleuchtung Fassade + Vordach	o	o	o	o	o	-	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
<b>Strahlung</b>	--	o	--	o	--	--	o	o	o	o	--	o	--	o	o	o	o
Radon	o	o	o	o	-	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Abwärme Herstellungs-/Bau-/Betriebsprozesse	--	o	--	o	o	o	o	o	o	o	--	o	--	o	o	o	o

o Emissionen außerhalb der Systemgrenze; -- keine Angabe zu Emissionen; - auftretende Emissionen, nicht bewertbar;  
+ bewertbare Emissionen, Anforderungen/Grenzwerte nicht eingehalten; ++ bewertbare Emissionen, Anforderungen/Grenzwerte eingehalten

Es wird deutlich, dass in jeder Lebenszyklusphase Emissionen auftreten. Dabei sind jedoch nicht alle bewertbar bzw. es liegen keine Angaben zu den möglicherweise auftretenden Emissionen vor.

Die Umweltwirkungen GWP, AP, EP, ODP und POCP wurden für knapp die Hälfte der Lebenszyklusphasen berechnet. Die THG-Emissionen (GWP) des NAWAREUMs können mit anderen Gebäuden verglichen werden, gebäudespezifische Grenzwerte sind jedoch nicht vorhanden. Für weitere Umweltwirkungen (AP, EP, ODP, POCP) ist der Vergleich aufgrund unzureichender Daten nicht möglich und müsste im Rahmen weiterer Forschungsprojekte untersucht werden.

Auch wenn Schadstoffe wahrscheinlich in diversen Lebenszyklusphasen auftreten, kann an dieser Stelle aufgrund der Datenlage keine Aussage hierzu getroffen werden. In Bezug auf Schall wird deutlich, dass die auftretenden Emissionen in der Nutzungsphase ermittelt und auch bewertet werden können. Dies liegt wohl daran, dass in diesem Bereich viele (bau-)rechtliche Rahmenbedingungen nachweislich eingehalten

werden müssen (vgl. Kapitel 6.1.3). Lichtemissionen treten nur in drei Lebenszyklusphasen auf, können dort aber nur qualitativ oder gar nicht ermittelt werden. Auch im Hinblick auf Strahlung können die auftretenden Emissionen kaum ermittelt und auch nicht bewertet werden. Für die Realisierung eines emissionsfreien Gebäudes wird deutlich, dass auch diese – meistens noch wenig beachteten – Emissionsarten schon in der Planung mitberücksichtigt werden müssen.

## 8.4. Empfehlungen zur Emissionsminderung

Wie in Kapitel 7 dargestellt sollten zum Erreichen von Emissionsfreiheit folgende Strategien verfolgt werden:

1. Vermeiden
2. Reduzieren
3. Kompensieren

Angewandt auf das Fallbeispiel NAWAREUM ist demzufolge im ersten Schritt zu prüfen, an welcher Stelle Emissionen vermieden werden können. Folgende Punkte sind hierfür denkbar bzw. wären zu diskutieren:

- Unterlassen der Baumaßnahme: Dies würde dazu führen, dass alle ermittelten und eventuell auftretenden Emissionen vermieden würden. Damit wäre aber auch kein Informations- und Beratungszentrum geschaffen, weshalb diese Option höchstwahrscheinlich ausgeschlossen würde. THG-Emissionen und weitere Umweltwirkungen könnten möglicherweise durch eine Suffizienz-Betrachtung des tatsächlichen Bedarfs an Fläche und Materialien vermieden werden (Welche Fläche wird tatsächlich benötigt? Kann z. B. auf Räume durch die Möglichkeit von Mehrfachnutzungen verzichtet werden?).
- In Bezug auf CO<sub>2</sub>-Emissionen spielt der Gebäudebetrieb (Phase B6) eine wichtige Rolle (siehe Abbildung 12). Auch im Hinblick auf das Versauerungs- und Eutrophierungspotenzial (SO<sub>2</sub>-Äqv. bzw. PO<sub>4</sub>-Äqv.) steckt bei einem Anteil des Betriebs von fast der Hälfte der jeweiligen Emissionen ein großes Einsparpotenzial von Emissionen in der Energiebereitstellung. Wird für das NAWAREUM anstatt des deutschen Strom-Mix auf Strom aus 100 % erneuerbaren Energien<sup>16</sup> umgestellt, können in den Wirkungskategorien GWP, AP, EP und POCP mehr als 90 % der verursachten Emissionen vermieden werden; beim OPD beträgt das Einsparpotenzial knapp 60 % (siehe Abbildung 17).

Für eine Vergleichbarkeit der Daten mit der LCA aus Abschnitt 8.3.1 wird für diese Vergleichsrechnung die Datenbank ÖKOBAUDAT verwendet. Hier sind Datensätze für die Energieerzeugung aus Windkraft und Wasserkraft vorhanden, jedoch nicht für PV und Biomasse. Werte für GWP und AP von

---

<sup>16</sup> Struktur der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Jahr 2019 in Deutschland gemäß [161]: 10,9 % Windenergie auf See, 41,3 % Windenergie an Land, 7,4 % Wasserkraft, 20,2 % Biomasse, 20,2 % Photovoltaik

Stromerzeugung mit PV-Modulen wurden zwar vom Umweltbundesamt im Jahr 2021 aktualisiert. Die Ergebnisse unterscheiden sich je nach Anlagentyp und Produktionsstandort der PV-Module und weisen große Bandbreiten auf, unter anderem aufgrund unterschiedlicher Nutzungsdauer der Anlagen. Durchschnittswerte der Wirkungsindikatoren für PV-Strom im deutschen Strom-Mix werden jedoch nicht angegeben. [162] Bei der Berechnung der Einsparpotenziale im Betrieb werden für den Strom-Mix aus 100 % erneuerbaren Energien daher nur die Anteile aus Wind- und Wasserkraft berücksichtigt.

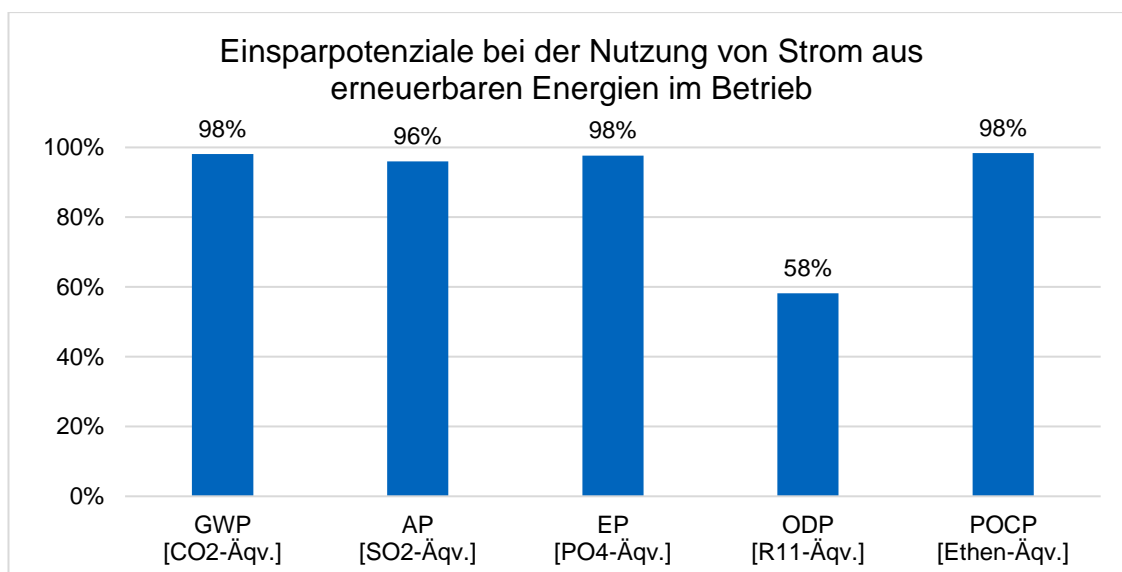


Abbildung 17. Einsparpotenziale bei der Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien im Betrieb

Für den zweiten Schritt, die Reduzierung von Emissionen, sind unter anderem folgende Maßnahmen denkbar:

- Reduktion des Energiebedarfs: Überprüfung, auch in Abstimmung mit Nutzer:innen/Betreibenden, wo Energieeinsparung möglich ist. Möglicherweise Optimierung von passiven Maßnahmen wie außenliegender Sonnenschutz mit automatischer Sonnenschutzsteuerung (sofern nicht vorhanden), Einsatz effizienter TGA und Geräte, intelligentes Gebäudemanagement, an Nutzer:innen-Verhalten angepasstes Gebäudemanagement oder Nutzer:innen-Verhalten entsprechend des Gebäudemanagements, etc.
- Reduktion der grauen Emissionen in der Herstellung (A1-3):
  - Einsatz von Recyclingmaterialien und Recyclingbauteilen
  - Reduzierter Einsatz von Primärrohstoffen
  - Geringerer Einsatz von CO<sub>2</sub>-intensiven Baustoffen wie Stahlbeton und Zement; siehe Abbildung 18: die Gründung aus Stahlbeton, Magerbeton und XPS-Dämmung hat unter Berücksichtigung des negativen Werts der Dächer einen relativ hohen Anteil von ca. 160 % am GWP; durch den Einsatz anderer Baustoffe/Konstruktionsweisen bzw. den Verzicht der

eingesetzten Gründungsmaterialien könnte das  $GWP_{A1-3}$  deutlich auf  $-0,34 \text{ kg CO}_2\text{-Äqv./m}^2\text{a}$  reduziert werden und das Gebäude wäre bezogen auf die Herstellung ein Kohlenstoffspeicher; das gesamte GWP ohne D könnte um 18 % verringert werden

- Geringerer Einsatz von Materialien mit hohem Versauerungs- bzw. Eutrophierungspotenzial  
siehe Abbildung 19 und Abbildung 20: die Decken haben zum Beispiel einen Anteil am AP von rund 24 % und am EP von rund 29 %<sup>17</sup>
- Reduktion der grauen Emissionen in den Lebenszyklusphasen Ersatz (B4), End-of-Life (C1-4) und Recycling (D): längere Lebensdauer der Bauteile und Baumaterialien, insbesondere der TGA-Komponenten, durch entsprechende Pflege/Instandhaltung/Instandsetzung, Kaskadennutzung von Holzbauteilen und Holzwerkstoffen (keine Verbrennung nach Nutzungsdauer, sondern weitere Nutzung), Wieder -und Weiterverwendung ermöglichen durch lösbare Verbindungen, etc.
- Berücksichtigung der Empfehlungen zur Minderung von Lichtemissionen wie beispielsweise Klärung des Lichtbedarfs/Beleuchtungsniveaus, Lichtlenkung ausschließlich in künstlich zu beleuchtende Bereiche, Begrenzung der Betriebsdauer, etc. [52]

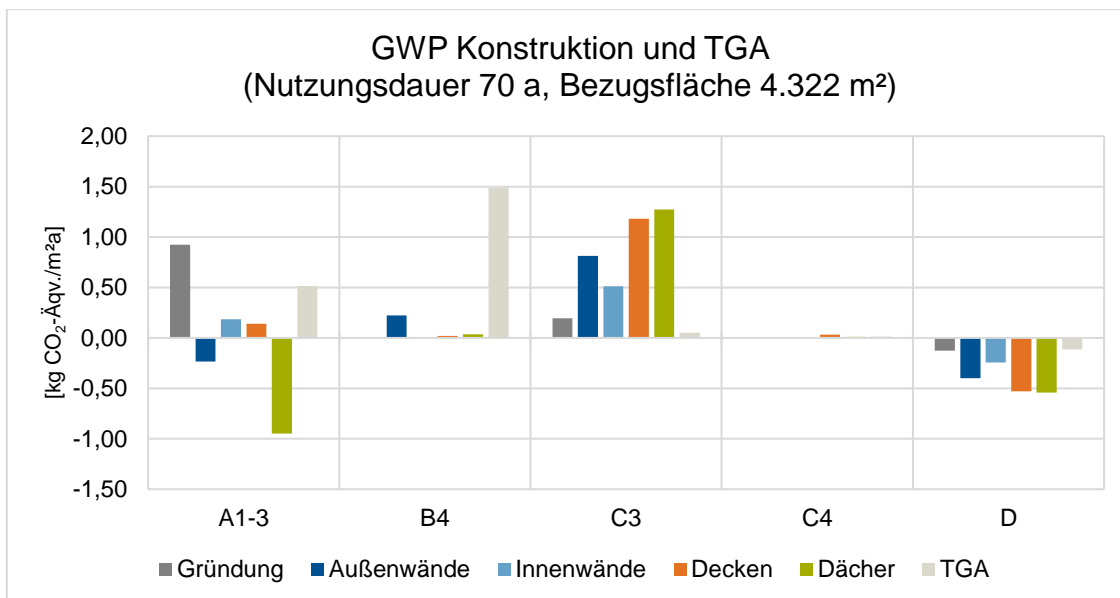


Abbildung 18. Treibhauspotenzial (GWP) für Konstruktion und TGA des NAWAREUM

<sup>17</sup> Im Sinne des Klimaschutzes ist die Reduktion der THG-Emissionen essenziell; bei geringen THG-Emissionen gewinnen andere Umweltwirkungen wie AP und EP zunehmend an Bedeutung und sollten daher auch berücksichtigt werden

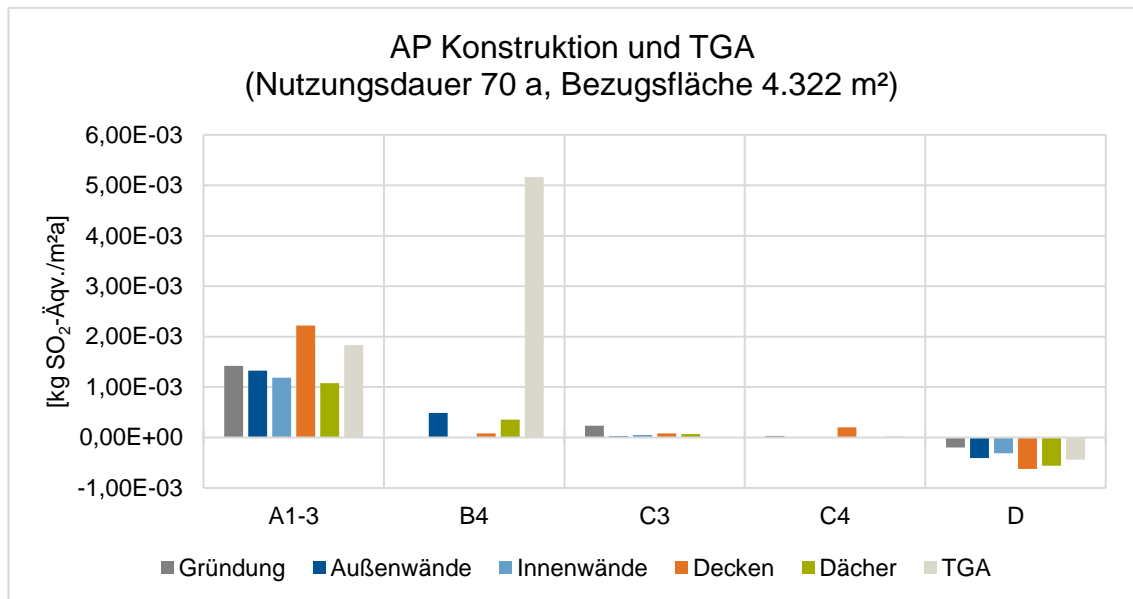


Abbildung 19. Versauerungspotenzial (AP) für Konstruktion und TGA des NAWAREUM

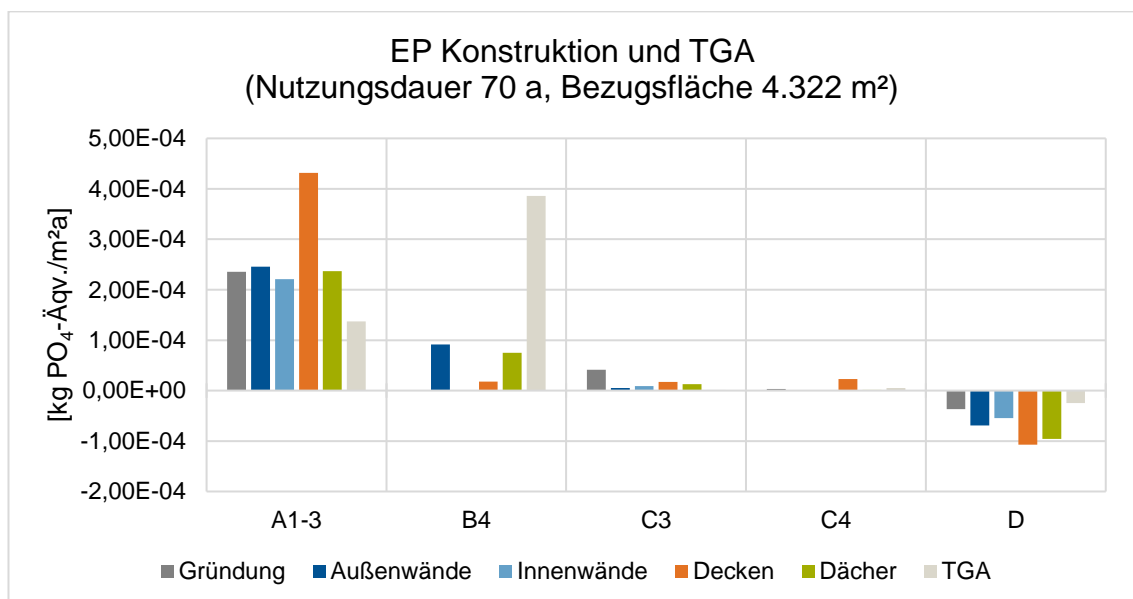


Abbildung 20. Eutrophierungspotenzial (EP) für Konstruktion und TGA des NAWAREUM

Im Hinblick auf Kompensation, welche als letzte Option angestrebt werden sollte, sind für das NAWAREUM folgende Maßnahmen denkbar:

- Kompensation über Begrünung und Außenanlagen: Zur Ermittlung der Kompensationsfähigkeit der Dachbegrünung und der Begrünung im Außenraum des NAWAREUM wurde eine LCA durchgeführt. Dabei wurden die Konstruktionen für die Außenanlagen mitbilanziert (Fundamente, Entwässerungselemente, Sitzblockelemente, Wege/Plätze, Holzwerkstoffe) und dem Senkenpotenzial der Grünflächen (Bäume, Sträucher, Dachbegrünung) gegenübergestellt. Das GWP für die Außenanlagen beträgt bei einer Nutzungsdauer von 70 Jahren rund 56 t CO<sub>2</sub>-Äqv., die Grünflächen weisen eine Kompensationsfähigkeit von knapp -168 t CO<sub>2</sub> auf (siehe Abbildung 21).

Bezogen auf das NAWAREUM mit einer Nutzungsdauer von 70 Jahren können die Grünflächen unter Berücksichtigung der Materialien für die Außenanlagen, Konstruktion und TGA knapp 2 % des gesamten GWP (ca. 112 t CO<sub>2</sub> von insgesamt ca. 5.700 t CO<sub>2</sub>-Äqv.) kompensieren.

- Erwerb von entsprechend geprüften Zertifikaten für die Kompensation von CO<sub>2</sub>-Emissionen: Nach Abzug der Kompensationsfähigkeit am Standort (Außenanlagen und Dachbegrünung) sind für das Erreichen der Klimaneutralität Zertifikate für insgesamt ca. 5.589 t CO<sub>2</sub>-Äqv. bzw. bei einer Nutzungsdauer von 70 Jahren für knapp 80 t CO<sub>2</sub>-Äqv. pro Jahr zu erwerben. Bei einem Minderungspotenzial von Walderhalt und der Vermehrung von Waldfläche (Aufforstung, Wiederaufforstung) in Deutschland von durchschnittlich 4 t CO<sub>2</sub>-Äqv. je ha/Jahr [135] wäre damit eine Fläche von 20 ha/Jahr erforderlich.

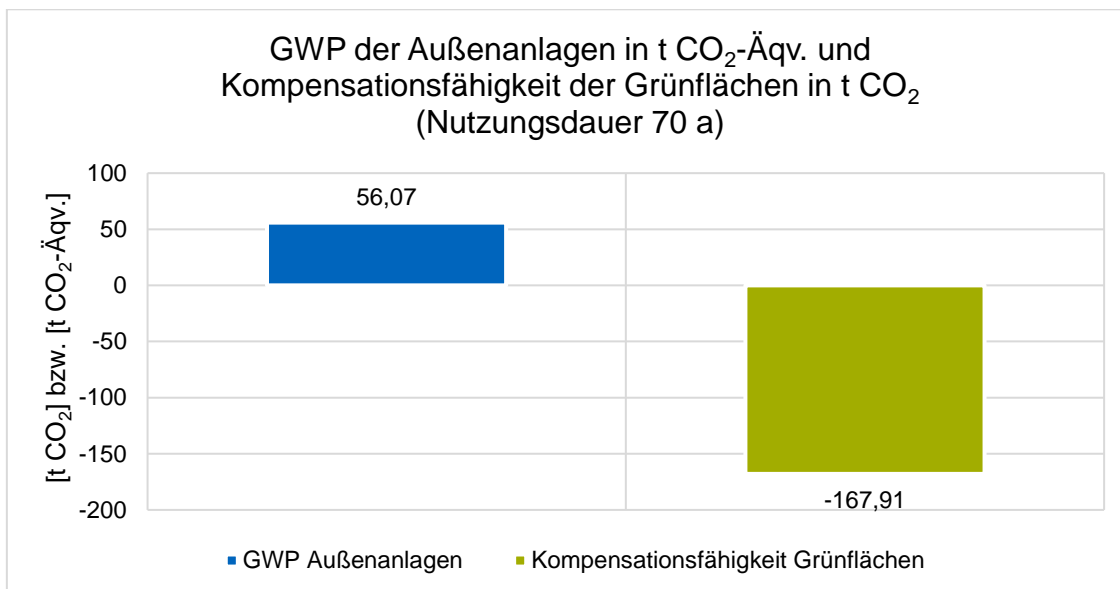


Abbildung 21. GWP der Außenanlagen und Kompensationsfähigkeit der Grünflächen

## 8.5. Zusammenfassung

Die Anwendung am Fallbeispiel zeigt, dass die Ermittlung und Bewertung von Emissionen je nach Emissionsart und Lebenszyklusphase stark variieren. Für Emissionen, die gesetzlich geregelt und im Rahmen einer Baumaßnahme nachzuweisen sind, ist eine Bewertung eher möglich als für Emissionen, die freiwillig betrachtet werden können. Zudem wurde deutlich, dass nicht alle Emissionen berechnet werden können und für die Bewertung teilweise auch Messungen am Standort erforderlich wären. Dabei sind Emissionen in der Nutzungsphase, insbesondere in den Phasen B1-6, am ehesten ermittel- und bewertbar. Schall-, Licht- und Strahlungsemissionen in früheren Lebenszyklusphasen wie Herstellung (A1-3) und Erstellung (A4-5) treten auf, sind aber kaum quantitativ bewertbar oder werden gar nicht erst erfasst (auch nicht qualitativ). Angaben zu THG-Emissionen und weiteren



Umweltwirkungen infolge Herstellung (A1-3), Entsorgung (C3-4) oder Recycling (D) können nur in Bezug auf diejenigen Emissionen getätigt werden, die im Rahmen einer LCA erfasst werden.

Für die Bewertung von Emissionen sind eine Vielzahl an Unterlagen (Berechnungen, Simulationen, Messungen, etc.) erforderlich. Liegen diese zum Abschluss eines Bauprojekts nicht vor, können die Informationen kaum noch eingeholt werden. Dabei helfen Berechnungen und Optimierungsvarianten bereits in frühen Planungsphasen, relevante Emissionsquellen zu identifizieren. Emissionen können so noch vor ihrem Auftreten vermieden und reduziert werden. Messungen von Emissionen helfen zudem der Qualitätssicherung und können die Identifikation und Überprüfung von Reduktionsmaßnahmen unterstützen. Da das Thema Schadstoffe äußerst relevant für die menschliche Gesundheit und die Natur ist (siehe Kapitel 5), könnte eine entsprechende Betrachtung als fester Bestandteil von weiteren Planungs- und Bauprozessen ein wichtiger Schritt zu deren Vermeidung sein. Es ist daher zu empfehlen, erforderliche Unterlagen für die Bewertung von Emissionen bereits zu Beginn einer Baumaßnahme zu kommunizieren sowie als Abgabeleistung zu formulieren.

## 9. Fazit

Das folgende Kapitel fasst die Erkenntnisse des Forschungsprojekts zusammen. Es werden Handlungshinweise für emissionsfreies Bauen genannt und weiterer Forschungsbedarf aufgezeigt.

### 9.1. Zusammenfassung der Erkenntnisse

Die Recherche und Auswertung von Literatur zum Thema Emissionen im Gebäudelebenszyklus macht deutlich, dass eine Vielzahl an Emissionen besteht. Dabei lassen sich die Emissionen wie folgt kategorisieren: (a) nach ihrer Wirkungsebene: global, lokal am Gebäudestandort und Emissionen innerhalb des Gebäudes; (b) nach der Emissionsart: Treibhausgas (THG)-Emissionen, weitere Umweltwirkungen, Emissionen aus Baumaterialien und -produkten (Schadstoffe), Schall, Licht, Strahlung; (c) nach ihrem Auftreten im Lebenszyklus in den Phasen Herstellung, Errichtung, Nutzung, Entsorgung und Recycling.

Für viele Emissionsarten bestehen bereits Vorgaben und Empfehlungen zum Schutz von Klima, Umwelt und menschlicher Gesundheit. Bei der Planung von Gebäuden und mit Bezug auf den Gebäudelebenszyklus ist jedoch nur ein kleiner Teil davon gesetzlich geregelt (siehe Kapitel 5.5). Die Verursachung von THG-Emissionen oder Schadstoffen im Innenraum wird beispielsweise nur auf freiwilliger Basis, wie etwa bei Zertifizierungssystemen, berücksichtigt. Für eine ganzheitliche Betrachtung von Gebäuden sollten jedoch alle klima-, umwelt- und gesundheitsrelevanten Emissionen bereits in frühen Planungsphasen berücksichtigt werden.

Die Wichtigkeit einer frühzeitigen und ganzheitlichen Berücksichtigung von Emissionen wird auch durch die Betrachtung des Fallbeispiels in Kapitel 8 deutlich. Hier zeigt sich zum einen, dass eine Bewertung von verursachten Emissionen nach der Realisierung eines Gebäudes nur bedingt möglich ist. Werden Emissionen beispielsweise während der Errichtung nicht erfasst oder der Schadstoffgehalt in der Innenraumluft nach Fertigstellung nicht gemessen, so lassen sich diese Emissionen im Nachgang auch nicht mehr ermitteln. Hingegen können Emissionen wie THG-Emissionen für Herstellung, Austausch der Baukonstruktionen und Komponenten der technischen Gebäudeausrüstung, Nutzenergie im Betrieb, Entsorgung und Recycling am Lebensende des Gebäudes können auch im Nachhinein berechnet werden. Die Ermittlung von Emissionen bei der Errichtung (hierzu zählen zum Beispiel Schall- und Schadstoffemissionen auf der Baustelle) und damit auch deren Bewertung ist nach Fertigstellung in der Regel nicht mehr möglich. Des Weiteren sind zur Bewertung von Emissionen aus Baumaterialien in den Innenraum oder die lokale Umwelt bereits in der Planungsphase, spätestens jedoch in der Ausführungsphase des Gebäudes, Schadstoffmessungen zu berücksichtigen. Zum anderen zeigt die Bewertung des Fallbeispiels, dass das größte Potenzial zur Vermeidung und Reduktion von Emissionen in der Gebäudeplanung liegt und nach der Realisierung bereits verursachte Emissionen nur noch kompensiert werden können.

## 9.2. Handlungshinweise für emissionsfreies Bauen

Im Lebenszyklus von Gebäuden treten eine Vielzahl an Emissionen auf. Dabei sind die Aus- und Wechselwirkungen sehr komplex und werden von verschiedenen Fachdisziplinen näher betrachtet und erforscht, meistens mit Fokus auf eine Emissionsgruppe oder Emissionsart. Bislang spielen dabei neben THG-Emissionen vor allem Schallemissionen und Schadstoffeinträge in die (Innenraum-)Luft eine große Rolle.

Gebäude verursachen in ihrem Lebenszyklus jedoch weit mehr Emissionen. Eine lebenszyklusbasierte Betrachtung kann hier helfen, Emissionsfreiheit zu erreichen. Dieses Ziel ist sehr komplex und fordert Fachexpertise in diversen Bereichen. Den Fokus auch auf einzelne Lebenszyklusphasen und nicht nur auf den gesamten Lebenszyklus zu richten, kann hilfreich sein, Potenziale für die Vermeidung, Reduktion und Kompensation von Emissionen zu identifizieren und entsprechend umzusetzen.

Dabei zeichnet sich ab, dass bisher verfolgte Effizienz-Strategien zur Erreichung eines emissionsfreien Gebäudesektors sowie Erfüllung der internationalen und bundesweiten Nachhaltigkeitsziele nicht ausreichen. Die lebenszyklusbasierte Betrachtung von Gebäuden ist wichtig, um Emissionen bereits in frühen Planungsphasen zu identifizieren und vermeiden zu können, da nach Fertigstellung auf bereits auftretende Emissionen nur eingeschränkt reagiert werden kann und eine Vermeidung zu diesem Zeitpunkt ohne weitere Maßnahmen nicht mehr möglich ist. Sie sollte daher nach Überzeugung der Autor:innen in geeigneter Weise in Baurecht und Bauordnungen integriert werden. Angaben zu THG-Emissionen und weiteren Umweltwirkungen würden damit bereits zum Bauantrag, spätestens zur Baugenehmigung erforderlich und eine Optimierung hin zu einem emissionsfreien Gebäude bereits in der Planung verpflichtend. Auch eine Nachweispflicht nach Fertigstellung über eingesetzte Baustoffe, zum Beispiel in Form von Materialpässen oder Innenraumluftmessungen, kann zu einem emissionsfreien Gebäudesektor beitragen. Hierzu wäre zudem der Ausbau von Datenbanken zur LCA-Berechnung dahingehend erforderlich, dass neben material- und produktspezifischen THG-Emissionen und weiteren Umweltwirkungen auch Angaben zu Gesundheitsaspekten verfügbar sind.

Im Hinblick auf den Klima- und Umweltschutz sind zunehmend die Strategien Suffizienz (Bedarf hinterfragen, Genügsamkeit, geringerer Ressourcenverbrauch durch eine Verringerung der Nachfrage nach Gütern) und Konsistenz (Nutzung naturverträglicher Technologien, welche die Stoffe und Leistungen der Ökosysteme nicht zerstören, zum Beispiel erneuerbare Energien anstatt fossiler Brennstoffe) essenziell.

Weitergehende Ansätze, wie *Regenerative Design*, *Cradle to Cradle* und *Circular Economy*, ermöglichen nicht nur die Vermeidung von negativen Auswirkungen, sondern unterstützen zudem die Umsetzung von Mehrwerten für Mensch und Natur.

Für eine Realisierung emissionsfreier Gebäude werden auf Basis des vorliegenden Forschungsprojekts zusammenfassend Maßnahmen empfohlen. Dabei richten sich die nachfolgenden Empfehlungen an alle am Bau Beteiligten, da die Thematik verschiedenste Fachbereiche und Zuständigkeiten betrifft.

- Lebenszyklusbasierte Betrachtung von Gebäuden bereits in frühen Planungsphasen
- Unmittelbare, grundlegende Untersuchung von Vermeidungspotenzialen von Emissionen vor Planungsbeginn. Erst dann anschließende Untersuchung, wie verursachte Emissionen reduziert und ggf. kompensiert werden können („vermeiden – reduzieren – kompensieren“)
- Suffizienter, konsistenter und effizienter Umgang mit Ressourcen:
  - Nutzung von bestehenden Strukturen
  - möglichst geringer Einsatz von Primärrohstoffen
  - möglichst umfassender Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen
  - Einsatz langlebiger Materialien und Bauteile
  - Nutzung von Sekundärmaterialien und recycelten Bauteilen
- Schadstoffbetrachtung als Planungsbestandteil verankern
- Verzicht auf gefährliche Stoffe und Problemstoffe/-produkte
- Bereitstellung und Nutzung von Strom und Wärme aus 100 % erneuerbaren Energien
- Vermeidung heller, weitreichender künstlicher Lichtquellen in der freien Landschaft, Klärung des Lichtbedarfs/Beleuchtungsniveaus, Lichtlenkung ausschließlich in künstlich zu beleuchtende Bereiche, Begrenzung der Betriebsdauer
- Nutzung von Gebäudebegrünung und grünen Infrastrukturen als Emissionssenkern am Standort
- Können Emissionen nicht berechnet und nur mittels Messungen ermittelt werden, wie etwa im Bereich von Schadstoffen:
  - qualitative Bewertung der Emissionen in der Planungsphase, Beachtung von Empfehlungen zu Leit- und Richtwerten
  - messtechnische Überprüfung der Emissionen nach Fertigstellung (zum Beispiel Überprüfung der Innenraumlufthqualität mittels Raumlufthmessungen)
- Dynamische Betrachtung der Emissionen, da sich die Wirkung von Emissionen zu verschiedenen Zeitpunkten unterscheiden kann: THG-Emissionen wirken zum Beispiel über mehrere Jahrzehnte, stoffliche Emissionen sind unter anderem abhängig von der Temperatur und wirken sich dadurch unterschiedlich auf die Konzentrationshöhe von Emissionen in der Innenraumlufth aus
- Unterstützung von Projekten zur Kompensation von CO<sub>2</sub>-Emissionen wie dauerhafter Walderhalt, Aufforstung und Renaturierung von Mooren.

Diese genannten Strategien zur Realisierung von emissionsfreien Gebäuden lassen sich direkt zu den europäischen Zielen, wie sie im Europäischen Grünen Deal festgelegt

sind, in Verbindung setzen: die Vermeidung und Reduktion von THG-Emissionen im Gebäudelebenszyklus durch geeignete Bauweisen und Materialien mit langen Nutzungsdauern, eine erneuerbare Energieversorgung über alle Lebenszyklusphasen hinweg sowie die Verwendung von schadstofffreien Materialien ohne schädliche Wirkung auf Mensch und Umwelt. Denn mit dem europäischen Grünen Deal soll eine THG-neutrale Wirtschaft bis 2050 geschaffen sowie heutigen und künftigen Generationen ein besseres und gesünderes Leben gesichert werden. Hierzu sind unter anderem folgende Ziele angestrebt: saubere Luft, sauberes Wasser, einen gesunden Boden und Biodiversität; sanierte, energieeffiziente Gebäude; sauberere Energie und modernste saubere Technologien; langlebigere Produkte, die repariert, wiederverwertet und wiederverwendet werden können. Ein emissionsfreier Gebäudesektor stellt damit einen essenziellen Baustein dar, um die definierten Nachhaltigkeitsziele zu erreichen.

### 9.3. Weiterer Forschungsbedarf

Aus den Erkenntnissen im Forschungsprojekt lässt sich weiterer Forschungsbedarf in folgenden Bereichen identifizieren bzw. weitere Forschungsfragen formulieren:

- Wie lassen sich Gebäude bereits in frühen Planungsphasen in Bezug zu den geltenden Klima- und Umweltschutzziele bewerten (z. B. in Bezug auf Emissionsfreiheit)? Genügt die Vermeidung schädlicher Emissionen oder bedarf es weiterer, regenerativer Ansätze?
- Welche langfristigen Auswirkungen haben heute verursachte Gebäudeemissionen in Bezug auf Klima, Gesundheit und Umwelt und wie müssen heutige Planungs- und Bauprozesse für einen Bausektor ohne negative Auswirkungen gestaltet werden?
- Wie lassen sich diese langfristigen Auswirkungen von Emissionen finanziell darstellen (Umweltkosten) und was bedeutet das für heutige Entscheidungsprozesse?
- Wie können Recyclingmaterialien und die Nutzung des Gebäudebestandes im Rahmen von Lebenszyklusanalysen (LCA) berücksichtigt werden und inwiefern tragen sie zu einem emissionsfreien Gebäudesektor bei?
- Wie können gesundheitsrelevante Emissionen von Baustoffen im Rahmen von LCAs abgebildet werden?
- Wie lassen sich Dämmstoffe und andere Baumaterialien wiederverwenden und -verwerten? Inwiefern müssen hierfür Ablauf- und Produktionsprozesse sowie rechtliche Rahmenbedingungen angepasst werden, um damit Emissionen zu vermeiden und zu reduzieren?
- Kann der Einsatz katalytischer Materialien am Gebäude unter realen Bedingungen erfolgreich zur Emissionsminderung von Luftschadstoffen beitragen?

Zudem bedarf es nach Überzeugung der Autor:innen einfach übertragbarer Praxisbeispiele, welche die theoretischen Überlegungen zu einem emissionsfreien, das heißt für Klima, Menschen und Natur nicht schädlichen, Gebäudesektor versuchen umzusetzen und von denen gelernt werden kann.

## 10. Publikationen

Im Rahmen des Forschungsprojekts sind folgende Publikationen erschienen:

- K. Theilig, M. Vollmer und W. Lang, „Impact and Allocation of Building Emissions“ in *11th Colloquium of the Munich School of Engineering*, S. 28, doi: 10.14459/2021md1621877.
- K. Theilig, M. Vollmer und W. Lang, „Identification and life cycle based allocation of building emissions based on a systematic literature review“, *Journal of Physics: Conference Series*, Jg. 2042, Nr. 1, S. 12177, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/2042/1/012177.

## Literatur

- [1] United Nations Environment Programme, „2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector and construction sector“, 2020.
- [2] *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode; Deutsche Fassung EN 15978:2011*, DIN EN 15978, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Okt. 2012.
- [3] IPCC, „Summary for Policymakers“, Cambridge University Press, Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_SPM.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf). Zugriff am: 12. August 2021.
- [4] United Nations, *Sustainable Development Goals (SDGs)*. [Online]. Verfügbar unter: <https://sdgs.un.org/goals> (Zugriff am: 25. März 2021).
- [5] Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, *Bayerische Nachhaltigkeitsstrategie*. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.stmuv.bayern.de/themen/agenda/bayer\\_nachhaltigkeitsstrategie/index.htm](https://www.stmuv.bayern.de/themen/agenda/bayer_nachhaltigkeitsstrategie/index.htm) (Zugriff am: 16. August 2021).
- [6] Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, *Umweltindikatoren Bayern*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.stmuv.bayern.de/themen/agenda/indikatoren/index.htm> (Zugriff am: 16. August 2021).
- [7] Bayerisches Landesamt für Umwelt, *Umweltindikatoren - LfU Bayern*. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.lfu.bayern.de/umweltdaten/indikatoren/liste\\_indikatoren/index.htm](https://www.lfu.bayern.de/umweltdaten/indikatoren/liste_indikatoren/index.htm) (Zugriff am: 16. August 2021).
- [8] Europäische Kommission, *Europäischer Grüner Deal*. [Online]. Verfügbar unter: [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_de](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de) (Zugriff am: 25. März 2021).
- [9] International Resource Panel, Hg., „Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future“, United Nations Environment Programme, 2020.
- [10] Europäische Kommission, „Der europäische Grüne Deal: Mitteilung der Kommission an das europäische Parlament, den europäischen Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen“, 2019.
- [11] Umweltbundesamt, *Stoffstrommanagement im Bauwesen*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/abfallwirtschaft/urban-mining/stoffstrommanagement-im-bauwesen#verwertung-von-baurestmassen> (Zugriff am: 9. April 2021).
- [12] Statistisches Bundesamt, „Bautätigkeit und Wohnungen: Bestand an Wohnungen“, Fachserie 5 Reihe 3, 31. Dez. 2020.



- [13] Statistisches Bundesamt, „Gebäude und Wohnungen: Bestand an Wohnungen und Wohngebäuden - Bauabgang von Wohnungen und Wohngebäuden - Lange Reihen ab 1969 - 2020“, 22. Juli 2021.
- [14] *Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz): GEG*, 2020.
- [15] AG Energiebilanzen e.V., Hg., „Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland: Daten für die Jahre von 1990 bis 2019“, Sep. 2020.
- [16] Umweltbundesamt, „Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2020: Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2018“. *Climate Change 22/2020*, 2020.
- [17] Umweltbundesamt, Hg., „Vorjahreschätzung der deutschen Treibhausgas-Emissionen für das Jahr 2020“, 15. März 2021.
- [18] European Environment Agency, „Healthy environment, healthy lives: how the environment influences health and well-being in Europe“, Report 21/2019, 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.eea.europa.eu/publications/healthy-environment-healthy-lives>. Zugriff am: 15. Februar 2021.
- [19] J. G. Allen *et al.*, „The 9 Foundations of a Healthy Building“, Harvard T.H. Chan School of Public Health, 2017.
- [20] W. Birmili, M. Kolossa-Gehring, K. Valtanen, M. Dębiak und T. Salthammer, „Schadstoffe im Innenraum – aktuelle Handlungsfelder“ (ger), *Bundesgesundheitsblatt*, Jg. 61, Nr. 6, S. 656–666, 2018, doi: 10.1007/s00103-018-2737-8.
- [21] Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, „DGNB System - Kriterienkatalog Gebäude. Version 2018 (7. Auflage)“, 2020.
- [22] P. Pluschke und H. Schleibinger, Hg., *Indoor Air Pollution*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2018.
- [23] Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat, *Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/bewertungssystem/> (Zugriff am: 17. August 2021).
- [24] The Research Centre on Zero Emission Buildings, „A Norwegian ZEB-definition: embodied emission“, ZEB Project report 17, 2014.
- [25] Swiss Academic Software GmbH, *Citavi - Literaturverwaltung und Wissensorganisation*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.citavi.com/de> (Zugriff am: 23. Dezember 2021).
- [26] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, *Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz): BImSchG*, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/bimschg/>
- [27] Umweltbundesamt, *Glossar*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/service/glossary/e> (Zugriff am: 7. Juni 2021).
- [28] H. Brauer, Hg., *Handbuch des Umweltschutzes und der Umweltschutztechnik*. Springer-Verlag, 1997.
- [29] S. Oehler, *Emissionsfreie Gebäude: Das Konzept der „Ganzheitlichen Sanierung“ für die Gebäude der Zukunft*. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2018.

- [30] D. Satola, M. Balouktsi, T. Lützkendorf, A. H. Wiberg und A. Gustavsen, „How to define (net) zero greenhouse gas emissions buildings: The results of an international survey as part of IEA EBC annex 72“, *Building and Environment*, Jg. 192, 2021, doi: 10.1016/j.buildenv.2021.107619.
- [31] Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, „Rahmenwerk für klimaneutrale Gebäude und Standorte“, 2020.
- [32] Institut Wohnen und Umwelt GmbH, „Zero Emission City: Sondierungsstudie im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung“, Darmstadt, 2002.
- [33] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, „Energieeffizienzstrategie Gebäude: Wege zu einem nahezu klimaneutralen Gebäudebestand“, 18. Nov. 2015.
- [34] Umweltbundesamt, „Treibhausgasneutralität in Deutschland bis 2050: Politikpapier zur RESCUE-Studie“, Nov. 2019.
- [35] Umweltbundesamt, „Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität – RESCUE: Kurzfassung“. Treibhausgasemissionen, Nov. 2019.
- [36] M. Röck *et al.*, „Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation“, *Applied Energy*, Jg. 258, S. 114107, 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.114107.
- [37] K. Theilig, M. Vollmer und W. Lang, „Impact and Allocation of Building Emissions“ in *11th Colloquium of the Munich School of Engineering*, S. 28, doi: 10.14459/2021md1621877.
- [38] Noun Project, *Symbole: Haus (Landan Lloyd), Wolken (Made x Made), Wasser (nauraicon), Boden (Ben Davis), Luft/-schadstoffe/Pfeile (Alvida Biersack)*.
- [39] *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; Deutsche Fassung EN 15804:2012/FprA1:2013 (Entwurf)*, DIN EN 15804/A1, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Mai. 2013.
- [40] Europäische Kommission, *European Platform on Life Cycle Assessment: EN 15804 reference package*. [Online]. Verfügbar unter: <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/EN15804.xhtml> (Zugriff am: 9. Februar 2022).
- [41] Umweltbundesamt, *Energiebedingte Emissionen*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energiebedingte-emissionen#energiebedingte-kohlendioxid-emissionen-durch-stromerzeugung> (Zugriff am: 19. August 2021).
- [42] Bundesinstitut für Bau-, Stadt und Raumforschung, „Ökologische Baustoffwahl: Aspekte zur komplexen Planungsaufgabe „Schadstoffarmes Bauen““, Zukunft Bauen: Forschung für die Praxis 04, Juli 2016.
- [43] D. Wicke, P. Rouault, M. Rohr und M. Burkhardt, „Guter Umgang mit Regenwasser – ein Leitfaden für Nachhaltiges Bauen: Vermeidung von stofflichen Belastungen im Regenabfluss von Gebäuden“, März 2021.
- [44] R. Schwerd, C. Schwitalla und C. Scherer, „Umwelteigenschaften mineralischer Werkmörtel und pastöser Produkte“, *Vom Wasser*, Nr. 115, 2017.
- [45] F. Sauer, „Algen machen das Leben schwer: Nachhaltiger Schutz von Gebäudefassaden“, *Farbe und Lack*, Jg. 119, Nr. 3, S. 73–79, 2013.

- [46] P. Vega-Garcia *et al.*, „Influence of façade orientation on the leaching of biocides from building façades covered with mortars and plasters“, *The Science of the Total Environment*, Jg. 734, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139465.
- [47] A. Leclerc, S. Sala, M. Secchi und A. Laurent, „Building national emission inventories of toxic pollutants in Europe“ (eng), *Environment International*, Jg. 130, 2019, doi: 10.1016/j.envint.2019.03.077.
- [48] Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, „DGNB System - Kriterienkatalog Gebäude im Betrieb. Version 2020“, 2020.
- [49] L. Fischer, *Unterschätzte Gesundheitsgefahr durch Holzrauch*. [Online]. Verfügbar unter: <https://scilogs.spektrum.de/fischblog/untersch-tzte-gesundheitsgefahr-durch-holzrauch/> (Zugriff am: 8. Februar 2021).
- [50] Weltgesundheitsorganisation, „Leitlinien für Umgebungslärm für die Europäische Region: Zusammenfassung“, 2018.
- [51] Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, „DGNB-System - Kriterienkatalog Quartiere. Version 2020“, 2020.
- [52] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz, „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, 2012 (Anlage 2: 2015).
- [53] C. George *et al.*, „Impact of photocatalytic remediation of pollutants on urban air quality“, *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, Jg. 10, Nr. 5, 2016, doi: 10.1007/s11783-016-0834-1.
- [54] L. Morawska und C. He, „Indoor Particles, Combustion Products and Fibres“ in *The Handbook of Environmental Chemistry*, Bd. 64, *Indoor Air Pollution*, P. Pluschke und H. Schleibinger, Hg., Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2018, S. 37–68, doi: 10.1007/978-3-662-56065-5.
- [55] Europäische Gesellschaft für gesundes Bauen und Innenraumhygiene, „Gesundheitsrisiko Feinstaub in Gebäuden“, 2018.
- [56] D. Clement, K. Hammer, J. Schnöller, H. Daxbeck und P. H. Brunner, „Wert- und Schadstoffe in Wohngebäuden“, *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft (öwaw)*, Jg. 63, 3-4, S. 61–69, 2011, doi: 10.1007/s00506-010-0272-4.
- [57] G. A. Ayoko und H. Wang, „Volatile Organic Compounds in Indoor Environments“ in *The Handbook of Environmental Chemistry*, Bd. 64, *Indoor Air Pollution*, P. Pluschke und H. Schleibinger, Hg., Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2018, S. 69–108, doi: 10.1007/978-3-662-56065-5.
- [58] T. Salthammer, „Release of Organic Compounds and Particulate Matter from Products, Materials, and Electrical Devices in the Indoor Environment“ in *The Handbook of Environmental Chemistry*, Bd. 64, *Indoor Air Pollution*, P. Pluschke und H. Schleibinger, Hg., Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2018, S. 1–36, doi: 10.1007/978-3-662-56065-5.
- [59] Bundesamt für Strahlenschutz, *Radioaktive Stoffe in Baumaterialien*. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/baustoffe/baustoffe\\_node.html](https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/baustoffe/baustoffe_node.html) (Zugriff am: 2. Februar 2022).
- [60] Fachverband Gebäudeschadstoffe Schweiz FAGES und Vereinigung Asbestberater Schweiz VABS, *Polludoc.ch*. [Online]. Verfügbar unter: <https://polludoc.ch/de> (Zugriff am: 23. November 2021).

- [61] Bundesamt für Gesundheit BAG, Schweizerische Eidgenossenschaft, *Schadstoffe und ihre Quellen*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/gesund-leben/umwelt-und-gesundheit/wohngifte/schadstoffe-in-der-raumluft/schadstoffe-und-ihre-quellen.html> (Zugriff am: 17. November 2021).
- [62] Verein ecobau, Hg., „Gebäudecheck ecobau 2021: Zum Umgang mit Schadstoffen und zur Wiederverwendung von Bauteilen bei Sanierung, Erneuerung oder Rückbau“, Zürich, 2021.
- [63] energie-fachberater.de, *Achtung bei der Sanierung: Schadstoffe verschiedener Baujahre*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.energie-fachberater.de/ratgeber/ratgeber-sanierungsplanung/achtung-bei-der-sanierung-schadstoffe-verschiedener-baujahre.php> (Zugriff am: 15. Dezember 2021).
- [64] Bayerische Architektenkammer, Hg., „Nachhaltigkeit gestalten“. Leitfaden für Architekten, Innenarchitekten, Landschaftsarchitekten, Stadtplaner, Fachingenieure, Bauherren und Interessierte, 2018.
- [65] Bundesinstitut für Bau-, Stadt und Raumforschung und Stadt und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumforschung, „WECOBIS: Webbasiertes ökologisches Baustoffinformationssystem“, Zukunft Bauen: Forschung für die Praxis 07, 2016. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.wecobis.de/>.
- [66] W. Linden und I. Marquardt, Hg., *Ökologisches Baustoff-Lexikon: Bauprodukte · Chemikalien · Schadstoffe · Ökologie · Innenraum*, 4. Aufl. VDE, 2018.
- [67] *DIN 4109: Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderungen*, DIN 4109, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Jan. 2018.
- [68] *DIN 18041: Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung*, DIN 18041, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Mrz. 2016.
- [69] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz und Bundesamt für Justiz, *Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen): 39. BImSchV*, 2020. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv\\_39/\\_4.html](https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_39/_4.html)
- [70] *Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm): TA Lärm*, 2017. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund\\_26081998\\_IG19980826.htm](https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_26081998_IG19980826.htm)
- [71] Bundesumweltministerium, *Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft): TA Luft*, 2002.
- [72] *Bundes-Klimaschutzgesetz: KSG*, 2019.
- [73] *Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm – Geräuschimmissionen: AVV Baulärm*, 1970. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund\\_19081970\\_IG17501331.htm](https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_19081970_IG17501331.htm)
- [74] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, *Klimarahmenkonvention*. [Online]. Verfügbar unter:

- <https://www.bmuv.de/themen/klimaschutz-anpassung/klimaschutz/internationale-klimapolitik/klimarahmenkonvention> (Zugriff am: 20220202).
- [75] Deutsche Umwelthilfe e.V., *Gebäudeenergiegesetz im Bundeskabinett: Angekündigtes Ölheizungsverbot entlarvt sich als Luftnummer*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.duh.de/presse/pressemitteilungen/pressemitteilung/gebäudeenergiegesetz-im-bundeskabinett-angekündigtes-oelheizungsverbot-entlarvt-sich-als-luftnummer/> (Zugriff am: 15. Februar 2022).
- [76] Verbraucherzentrale Bundesverband, *Gebäudeenergiegesetz ist kein großer Wurf*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.vzbv.de/pressemitteilungen/gebäudeenergiegesetz-ist-kein-grosser-wurf> (Zugriff am: 15. Februar 2022).
- [77] Umweltbundesamt, *Rechtliche Regelungen für Bauprodukte*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/bauprodukte/rechtliche-regelungen-fuer-bauprodukte#deutsche-regelungen-in-der-europaischen-datenbank-fur-gefahrlische-stoffe-in-bauprodukten-cpds-> (Zugriff am: 17. November 2021).
- [78] Umweltbundesamt, *Luftschadstoff-Emissionen in Deutschland*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland#entwicklung-der-luftschadstoffbelastung-> (Zugriff am: 23. November 2021).
- [79] *Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen: GefStoffV*, 2010. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.gesetze-im-internet.de/gefstoffv\\_2010/](https://www.gesetze-im-internet.de/gefstoffv_2010/)
- [80] Umweltbundesamt, *Ausschuss für Innenraumrichtwerte*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ausschuss-fuer-innenraumrichtwerte#richtwerte-fur-die-innenraumluft> (Zugriff am: 17. Januar 2022).
- [81] C. Hani, „Entwicklung einer lebenszyklusbasierten Bewertungsmethodik für Gebäudeemissionen“. Masterthesis, Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen, Technischen Universität München, 2021.
- [82] K. Guldager Jenxsen und H. Birgisdottir, *Guide to Sustainable Building Certifications*, 2018.
- [83] Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten, „Anforderungen an die Innenraumluftqualität in Gebäuden: Gesundheitliche Bewertung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VVOC, VOC und SVOC) aus Bauprodukten“, 2021.
- [84] *Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm: 2002/49/EG*, 2002.
- [85] Bundesamt für Justiz, *Achtzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Sportanlagenlärmschutzverordnung - 18. BImSchV)*. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv\\_18/\\_1.html](https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_18/_1.html).
- [86] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, „Leitfaden Barrierefreies Bauen – Hinweise zum inklusiven Planen von Baumaßnahmen des Bundes“, 2016.

- [87] Verein Deutscher Ingenieure e.V., *Schallschutz und akustische Gestaltung in Büros*. VDI-Richtlinie 2569. Düsseldorf.
- [88] Bundesamt für Strahlenschutz, *Gesetzliche Regelungen zum Schutz vor Radon*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/regelungen/gesetz.html> (Zugriff am: 1. Februar 2022).
- [89] Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, *Methodenkonvention 4.0: Grundlagen für die Aktualisierung und Erweiterung der Methodenkonvention zur Ermittlung von Umweltkosten – Teil 1*. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.ioew.de/projekt/methodenkonvention\\_40\\_grundlagen\\_fuer\\_die\\_aktualisierung\\_und\\_erweiterung\\_der\\_methodenkonvention\\_zur\\_ermittlung\\_von\\_umweltkosten\\_teil\\_1](https://www.ioew.de/projekt/methodenkonvention_40_grundlagen_fuer_die_aktualisierung_und_erweiterung_der_methodenkonvention_zur_ermittlung_von_umweltkosten_teil_1) (Zugriff am: 22. Februar 2022).
- [90] Umweltbundesamt, Hg., „Methodenkonvention 3.1 zur Ermittlung von Umweltkosten - Kostensätze: Stand 12/2020“, 2020.
- [91] *Monetäre Bewertung von Umweltauswirkungen und damit verbundenen Umweltaspekten*, DIN EN ISO 14008, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Mrz. 2021.
- [92] *Umweltmanagement – Leitlinien zur Ermittlung von Umweltkosten und -nutzen*, DIN EN ISO 14007, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Mrz. 2021.
- [93] D. Bertschmann, C. Bieler und D. Sutter, „Hilfestellung für die Monetarisierung von Umweltwirkungen politischer Massnahmen“, INFRAS, Zürich, 2020.
- [94] Umweltbundesamt, *Gesellschaftliche Kosten von Umweltbelastungen*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umweltwirtschaft/gesellschaftliche-kosten-von-umweltbelastungen#gesamtwirtschaftliche-bedeutung-der-umweltkosten> (Zugriff am: 22. Februar 2022).
- [95] M. Maibach, N. Sieber, R. Bertenrath, L. Koch, M. Thöne und P. Bickel, „Praktische Anwendung der Methodenkonvention: Möglichkeiten der Berücksichtigung externer Umweltkosten bei Wirtschaftlichkeitsrechnungen von öffentlichen Investitionen“, 2007. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3194.pdf>.
- [96] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, „Externe Kosten im Hochbau“. BMVBS-Online-Publikation 17/2010, 2010.
- [97] P. Schneider-Marin und W. Lang, „Environmental costs of buildings: monetary valuation of ecological indicators for the building industry“, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, Jg. 25, Nr. 9, S. 1637–1659, 2020, doi: 10.1007/s11367-020-01784-y.
- [98] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, *Wie funktioniert eigentlich der Europäische Emissionshandel?* [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2020/08/Meldung/direkt-erklaert.html> (Zugriff am: 21. Februar 2022).
- [99] P. Schönauer, „Umweltkosten im Holzmodul- und Massivbau: Ein Vergleich der Lebenszyklus- und Umweltkosten eines Schulneubaus aus Brettspertholzmodulen bzw. Stahlbeton“. Masterarbeit, Technischen Universität München, 2021.

- [100] *Gesetz über einen nationalen Zertifikatehandel für Brennstoffemissionen (Brennstoffemissionshandelsgesetz): BEHG, 2020.*
- [101] Sustainability Impact Metrics, *Eco-costs - Sustainability Impact Metrics*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ecocostsvalue.com/eco-costs/> (Zugriff am: 21. Februar 2022).
- [102] *Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006 + Amd 1:2020); Deutsche Fassung EN ISO 14040:2006 + A1:2020, DIN EN ISO 14040, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Feb. 2021.*
- [103] *Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006 + Amd 1:2017 + Amd 2:2020); Deutsche Fassung EN ISO 14044:2006 + A1:2018 + A2:2020, DIN EN ISO 14044, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Feb. 2021.*
- [104] *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; Deutsche Fassung EN 15804:2012+A2:2019, DIN EN 15804, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Mrz. 2020.*
- [105] Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat, *ÖKOBAUDAT: Informationsportal Nachhaltiges Bauen*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.oekobaudat.de/> (Zugriff am: 1. Dezember 2022).
- [106] ecoinvent, *ecoinvent Database*. [Online]. Verfügbar unter: <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/> (Zugriff am: 26. Januar 2022).
- [107] Sphera Solutions GmbH, *GaBi Software*. [Online]. Verfügbar unter: <https://gabi.sphera.com/deutsch/software/> (Zugriff am: 14. März 2022).
- [108] B. von Houwald, P. Wortner, J. Kreißig und H. Peters, *Entwicklung von Umweltproduktdeklarationen für transparente Bauelemente - Fenster und Glas - für die Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden: Abschlussbericht: EPDs für transparente Bauelemente*, 2011. Aufl. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2012.
- [109] Umweltbundesamt, Hg., „Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger: Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2020“, *Climate Change 71*, 2021.
- [110] *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Methodik zur Bewertung der Qualität von Gebäuden – Teil 1: Umweltqualität; Deutsche und Englische Fassung prEN 15978-1:2021 (Entwurf), DIN EN prEN 15978-1, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Sep. 2021.*
- [111] *Innenraumluftverunreinigungen – Teil 1: Allgemeine Aspekte der Probenahmestrategie (ISO 16000-1:2004); Deutsche Fassung EN ISO 16000-1:2006, DIN 16000-1, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Jun. 2006.*
- [112] M. Burkhardt, M. Klingler, D. Savi, M. Rohr und O. Tietje, „Entwicklung einer emissionsbasierten Bauproduktbewertung. Anwendung des Konzepts für Dachbahnen und Fassadenputze“. Schlussbericht, Ostschweizer Fachhochschule OST; Büro für Umweltchemie, 2021.
- [113] *Akustik – Angabe und Nachprüfung von Geräuschemissionswerten von Maschinen und Geräten (ISO 4871:1996); Deutsche Fassung EN ISO 4871:2009, DIN EN ISO 4871, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Nov. 2009.*
- [114] Bundesamt für Strahlenschutz, *Radon in der Boden-Luft in Deutschland*. [Online]. Verfügbar unter:

[https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/karten/boden.html;jsessionid=9713A9BA6CCCAAB1BD73FD6DBF0CF804.1\\_cid391](https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/karten/boden.html;jsessionid=9713A9BA6CCCAAB1BD73FD6DBF0CF804.1_cid391) (Zugriff am: 24. Januar 2022).

- [115] Radon-Fachstellen aus Österreich, Schweiz, Süddeutschland, Südtirol, „Radon: Messung und Bewertung“, 2021.
- [116] Umweltbundesamt, „Freiwillige CO<sub>2</sub>-Kompensationen durch Klimaschutzprojekte“, 2018. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/ratgeber\\_freiwillige\\_co2\\_kompensation\\_final\\_internet.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/ratgeber_freiwillige_co2_kompensation_final_internet.pdf)
- [117] F. Banihashemi, S. Erlwein, H. Harter, C. Meier-Dotzler und T. Zölch, „Broschüre 2: Grüne und graue Maßnahmen für die Siedlungsentwicklung. Klimaschutz und Klimaanpassung in wachsenden Städten“, Grüne Stadt der Zukunft: Klimaresiliente Quartiere in einer wachsenden Stadt,, 2021.
- [118] Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg und natureplus e.V., „Ganzheitliche Bewertung von verschiedenen Dämmstoffalternativen: Endbericht“, 2019.
- [119] A. Himes und G. Busby, „Wood buildings as a climate solution“, *Developments in the Built Environment*, Jg. 4, 2020, doi: 10.1016/j.dibe.2020.100030.
- [120] J. H. Arehart, J. Hart, F. Pomponi und B. D’Amico, „Carbon sequestration and storage in the built environment“, *Sustainable Production and Consumption*, Jg. 27, S. 1047–1063, 2021, doi: 10.1016/j.spc.2021.02.028.
- [121] P. Builtjes, W. Jörß, R. Stern und J. Theloke, „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung. Zusammenfassender Abschlussbericht“ 09/2012, 2012.
- [122] Umweltbundesamt, „Transformationsprozess zum treibhausgasneutralen und ressourcenschonenden Deutschland - GreenEe: Abschlussbericht“. *Climate Change* 01/2020, Sep. 2020.
- [123] Wissensstiftung, *No Rocket Science*. [Online]. Verfügbar unter: <https://norocketscience.earth/schadstoffe/warum/> (Zugriff am: 17. März 2021).
- [124] baubook GmbH, *baubook: Ökologische Bauprodukte*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.baubook.info/de>.
- [125] Bundesamt für Gesundheit BAG, Schweizerische Eidgenossenschaft, *Gesundes Bauen*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/gesund-leben/umwelt-und-gesundheit/wohngifte/gesund-bauen.html> (Zugriff am: 9. November 2021).
- [126] G. Churkina *et al.*, „Buildings as a global carbon sink“, *Nature Sustainability*, Jg. 3, Nr. 4, S. 269–276, 2020, doi: 10.1038/s41893-019-0462-4.
- [127] L. J. Whittinghill, D. B. Rowe, R. Schutzki und B. M. Cregg, „Quantifying carbon sequestration of various green roof and ornamental landscape systems“, *Landscape and Urban Planning*, Jg. 123, S. 41–48, 2014, doi: 10.1016/j.landurbplan.2013.11.015.
- [128] J. Yang, Q. Yu und P. Gong, „Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago“, *Atmospheric Environment*, Jg. 42, Nr. 31, S. 7266–7273, 2008, doi: 10.1016/j.atmosenv.2008.07.003.
- [129] M. Marchi, R. M. Pulselli, N. Marchettini, F. M. Pulselli und S. Bastianoni, „Carbon dioxide sequestration model of a vertical greenery system“, *Ecological Modelling*, Jg. 306, S. 46–56, 2015, doi: 10.1016/j.ecolmodel.2014.08.013.



- [130] F. Pomponi, J. Hart, J. H. Arehart und B. D'Amico, „Buildings as a Global Carbon Sink? A Reality Check on Feasibility Limits“, *One Earth*, Jg. 3, Nr. 2, S. 157–161, 2020, doi: 10.1016/j.oneear.2020.07.018.
- [131] J. H. Arehart, F. Pomponi, B. D'Amico und W. V. Srubar, „How Much Carbon Can Construction Materials Store?“ in *AScUS (un)Conference*, doi: 10.1038/s41893-019-0462-4.
- [132] K. W. Shah und W. Li, „A Review on Catalytic Nanomaterials for Volatile Organic Compounds VOC Removal and Their Applications for Healthy Buildings“ (eng), *Nanomaterials*, Jg. 9, Nr. 6, 2019, doi: 10.3390/nano9060910.
- [133] Umweltbundesamt, *Umweltthesaurus UMTHEs: Schadstoffsenke*. Begriff. [Online]. Verfügbar unter: [https://sns.uba.de/umthes/de/concepts/\\_00031070.html](https://sns.uba.de/umthes/de/concepts/_00031070.html).
- [134] Holzforschung München, „Bauen mit Holz: Ein Leitfaden“, Technischen Universität München, 2010. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.clusterforsth Holzbayern.de/images/stories/downloads/broschuere/broschuere-bauen-mit-holz-klimaschutz.pdf>.
- [135] Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlicher Verbraucherschutz und Wissenschaftlicher Beirat Waldpolitik beim BMEL, „Klimaschutz in der Land- und Forstwirtschaft sowie den nachgelagerten Bereichen Ernährung und Holzverwendung: Gutachten“, Berlin, 2016.
- [136] Umweltbundesamt, *Treibhausgasemissionen sinken 2020 um 8,7 Prozent: Positiver Trend der Vorjahre setzt sich fort / 40,8 Prozent Rückgang seit 1990*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/treibhausgasemissionen-sinken-2020-um-87-prozent> (Zugriff am: 23. Februar 2022).
- [137] F. Pomponi und A. Moncaster, „Scrutinising embodied carbon in buildings: The next performance gap made manifest“, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Jg. 81, S. 2431–2442, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.06.049.
- [138] M. Shafique, X. Xue und X. Luo, „An overview of carbon sequestration of green roofs in urban areas“, *Urban Forestry & Urban Greening*, Jg. 47, 2019, doi: 10.1016/j.ufug.2019.126515.
- [139] A. M. George, *The Potential Carbon Offset Represented by a Green Roof*, 2012.
- [140] K. L. Getter, D. B. Rowe, G. P. Robertson, B. M. Cregg und J. A. Andresen, „Carbon sequestration potential of extensive green roofs“, *Environmental Science & Technology*, Jg. 43, Nr. 19, S. 7564–7570, 2009, doi: 10.1021/es901539x.
- [141] S. Herfort und S. Tschuikowa, „CO<sub>2</sub>-Bindungsvermögen der für die Bauwerksbegrünung typischen Pflanzen“, Humboldt-Universität Berlin, Berlin, 2012.
- [142] J. Heusinger und S. Weber, „Extensive green roof CO<sub>2</sub> exchange and its seasonal variation quantified by eddy covariance measurements“, *The Science of the Total Environment*, 607-608, S. 623–632, 2017, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.07.052.
- [143] T. Kuronuma *et al.*, „CO<sub>2</sub> Payoff of Extensive Green Roofs with Different Vegetation Species“, *Sustainability*, Jg. 10, Nr. 7, S. 2256, 2018, doi: 10.3390/su10072256.

- [144]M. R. Seyedabadi, U. Eicker und S. Karimi, „Plant selection for green roofs and their impact on carbon sequestration and the building carbon footprint“, *Environmental Challenges*, Jg. 4, 2021, doi: 10.1016/j.envc.2021.100119.
- [145]T. Rötzer und A. Reischl, „Stadtbäume im Klimawandel II: Wuchsverhalten, Umweltleistungen und Perspektiven“, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, TU München, 2018.
- [146]S. Cascone, F. Catania, A. Gagliano und G. Sciuto, „A comprehensive study on green roof performance for retrofitting existing buildings“, *Building and Environment*, Jg. 136, S. 227–239, 2018, doi: 10.1016/j.buildenv.2018.03.052.
- [147]M. Manso, I. Teotónio, C. M. Silva und C. O. Cruz, „Green roof and green wall benefits and costs: A review of the quantitative evidence“, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Jg. 135, 2021, doi: 10.1016/j.rser.2020.110111.
- [148]N. J. Paull, D. Krix, P. J. Irga und F. R. Torpy, „Airborne particulate matter accumulation on common green wall plants“, *International journal of phytoremediation*, Jg. 22, Nr. 6, S. 594–606, 2019, doi: 10.1080/15226514.2019.1696744.
- [149]Digitales Wörterbuch der deutschen Sprache, *Kompensation*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.dwds.de/wb/Kompensation>.
- [150]Umweltbundesamt, „Klimaneutraler Gebäudebestand 2050: Energieeffizienzpotenziale und die Auswirkungen des Klimawandels auf den Gebäudebestand“. Climate Change 26/2017, Nov. 2017.
- [151]I. Susorova, P. Azimi und B. Stephens, „The effects of climbing vegetation on the local microclimate, thermal performance, and air infiltration of four building facade orientations“, *Building and Environment*, Jg. 76, S. 113–124, 2014, doi: 10.1016/j.buildenv.2014.03.011.
- [152]Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Hg., „Deutsches Ressourceneffizienz-programm II: Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen“, 2016.
- [153]European Environment Agency, „Circular economy in Europe: Developing the knowledge base“, Luxembourg, EEA Report 2, 2016.
- [154]K. Höglmeier, „Holznutzung in Kaskaden: Ansätze zur Potentialanalyse und zur Weiterentwicklung der ökobilanziellen Bewertung“. Dissertation, Technische Universität München, 2015.
- [155]M. Connelly und M. Hodgson, „Experimental investigation of the sound transmission of vegetated roofs“, *Applied Acoustics*, Jg. 74, Nr. 10, S. 1136–1143, 2013, doi: 10.1016/j.apacoust.2013.04.003.
- [156]Staaliches Bauamt Passau, „Leistungsverzeichnisse: Beschreibung der Baumaßnahme“, 2021.
- [157]Staaliches Bauamt Passau, „Info-Flyer zum Richtfest des NAWAREUM“, 2018.
- [158]Bundesinstitut für Bau-, Stadt und Raumforschung, „Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)“, 2017.
- [159]Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, Hg., „Benchmarks für die Treibhausgasemissionen der Gebäudekonstruktion: Ergebnisse einer Studie mit 50 Gebäuden“, 2021.

- [160]Umweltbundesamt, Hg., „Energieaufwand für Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus: Abschlussbericht“. Texte 132/2019, 2019.
- [161]Umweltbundesamt, *Erneuerbare Energien in Zahlen*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#ueberblick> (Zugriff am: 11. Februar 2022).
- [162]Umweltbundesamt, Hg., „Aktualisierung und Bewertung der Ökobilanzen von Windenergie- und Photovoltaikanlagen unter Berücksichtigung aktueller Technologieentwicklungen: Abschlussbericht“, 2021.

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Arbeitspakete des Forschungsprojekts (eigene Darstellung) .....	9
Abbildung 2. Verteilung der globalen CO <sub>2</sub> -Emissionen im Jahr 2019 (Quelle: in Anlehnung an [1], stark modifiziert) .....	11
Abbildung 3. Entwicklung von Wohnfläche, Endenergieverbrauch und energiebedingten THG-Emissionen durch Haushalte in Deutschland von 1999-2019 (Quelle: eigene Darstellung auf der Basis von [13, 15, 17]).....	12
Abbildung 4. Methodisches Vorgehen (eigene Darstellung) .....	13
Abbildung 5. Methodisches Vorgehen bei der Literaturrecherche und Auswahl relevanter Literatur (eigene Darstellung) .....	14
Abbildung 6. Methodisches Vorgehen bei der Literaturlauswertung (eigene Darstellung).....	15
Abbildung 7. Wirkungsebenen von Gebäude-Emissionen (Quelle: übersetzt nach [37], Symbole nach [38]) .....	17
Abbildung 8. Verbindlichkeit rechtlich festgelegter Werte (Quelle: in Anlehnung an [81], stark modifiziert) .....	31
Abbildung 9. Phasen der Ökobilanz (LCA) nach ISO 14040 (Quelle: nach [102]).....	40
Abbildung 10. Lebenszyklusphasen eines Gebäudes (Quelle: in Anlehnung an DIN EN 15978 [2], leicht modifiziert).....	43
Abbildung 11. Ansicht des NAWAREUM von Süd-Ost (Fotografie: Herbert Stolz) ....	58
Abbildung 12. Treibhauspotenzial (GWP) für Konstruktion, TGA und Betrieb des NAWAREUM.....	61
Abbildung 13. Versauerungspotenzial (AP) für Konstruktion, TGA und Betrieb des NAWAREUM .....	62
Abbildung 14. Eutrophierungspotenzial (EP) für Konstruktion, TGA und Betrieb des NAWAREUM .....	63
Abbildung 15. Abbaupotenzial hinsichtlich der stratosphärischen Ozonschicht (ODP) für Konstruktion, TGA und Betrieb des NAWAREUM .....	63
Abbildung 16. Potenzial für die Bildung von troposphärischem Ozon (POCP) für Konstruktion, TGA und Betrieb des NAWAREUM .....	64
Abbildung 17. Einsparpotenziale bei der Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien im Betrieb.....	69
Abbildung 18. Treibhauspotenzial (GWP) für Konstruktion und TGA des NAWAREUM.....	70
Abbildung 19. Versauerungspotenzial (AP) für Konstruktion und TGA des NAWAREUM.....	71
Abbildung 20. Eutrophierungspotenzial (EP) für Konstruktion und TGA des NAWAREUM.....	71
Abbildung 21. GWP der Außenanlagen und Kompensationsfähigkeit der Grünflächen.....	72

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Quellen für Emissionen außerhalb und innerhalb von Gebäuden abhängig von ihrem Auftreten [42, 56, 59–61].....	20
Tabelle 2. Quellen für Emissionen aus Baumaterialien und Bauteilkomponenten [21, 42, 60, 62–64].....	22
Tabelle 3. Emissionen aus Baumaterialien und Bauteilkomponenten im Gebäudebestand [42, 56, 60, 63].....	24
Tabelle 4. Emissionen und ihr Vorkommen in Baumaterialien und Bauteilkomponenten im Gebäudebestand [60, 62, 63].....	24
Tabelle 5. Lebenszyklusphasen des Gebäudes nach DIN EN 15978 [2] und Zuordnung der Emissionen .....	27
Tabelle 6. Übersicht der rechtlichen Rahmenbedingungen und möglichen Hilfestellungen für die Begrenzung von Emissionen.....	34
Tabelle 7. Staffelung der CO <sub>2</sub> -Bepreisung für fossile Heiz- und Brennstoffe gemäß [100].....	38
Tabelle 8. UBA-Empfehlung zu den Klimakosten in € je Tonne CO <sub>2</sub> -Äquivalent (Quelle: nach [90]).....	38
Tabelle 9. Ausgewählte THG-Emissionen und ihre mögliche Ermittlungsmethode .....	46
Tabelle 10. Weitere Umweltwirkungen und ihre mögliche Ermittlungsmethode.....	46
Tabelle 11. Ausgewählte Schadstoff-Emissionen und ihre mögliche Ermittlungsmethode .....	47
Tabelle 12. Ausgewählte Schall-Emissionen und ihre mögliche Ermittlungsmethode .....	47
Tabelle 13. Ausgewählte Licht-Emissionen und ihre mögliche Ermittlungsmethode .....	48
Tabelle 14. Ausgewählte Strahlungs-Emissionen und ihre mögliche Ermittlungsmethode .....	48
Tabelle 15. Auswahl an Planungshilfen für emissionsarmes Bauen.....	51
Tabelle 16. Senkenpotenzial von Begrünungssystemen für unterschiedliche Emissionsarten .....	55
Tabelle 17. Treibhauspotenzial und weitere Umweltwirkungen für das NAWAREUM bei einer Nutzungsdauer von 70 Jahren.....	64
Tabelle 18. Übersicht der Emissionen im Lebenszyklus für das NAWAREUM.....	67

# Anhang

Im Folgenden sind die detaillierten Ergebnisse der Ökobilanz (LCA) zum Fallbeispiel NAWAREUM angehängt:

- Ranking Baustoffe
- Ranking Bauteile



eLCA v0.9.7 BETA

## **Ranking Baustoffe WIRKUNGSABSCHÄTZUNG**

Projekt: NAWAREUM  
Projektvariante: ES Bau  
Bearbeiter: Kathrin Theilig  
Stand: 27.06.2022

Bilanzierungszeitraum: 70 Jahre  
Bezugsfläche (NGF): 4322 m<sup>2</sup>



# NAWAREUM

## LCA - Ökologische Qualität -

#	Baustoff	Indikator	Gesamt / m <sup>2</sup> <sub>NGFA</sub>	Einheit
1	Photovoltaiksystem 1000 kWh/m <sup>2</sup> *a (ohne Stromgutschrift)	GWP	1,2072814502	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
2	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30	GWP	0,8882610151	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
3	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 35/45	GWP	0,5677575544	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
4	XPS-Dämmstoff	GWP	0,5176856322	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
5	Bewehrungsstahl	GWP	0,4829156679	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
6	Zementestrich	GWP	0,4305059829	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
7	Holzfaserdämmstoff Trockenverfahren (Durchschnitt DE)	GWP	0,3288114563	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
8	Brettsperrholz (Durchschnitt DE)	GWP	0,3234943487	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
9	Fußbodenheizung PEX (100 mm Abstand)	GWP	0,2775669447	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
10	Dreifachverglasung	GWP	0,2122745673	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
11	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	GWP	0,1660432670	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
12	Solaranlage Flachkollektor	GWP	0,1616450139	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
13	Fahrstuhl - Grundkomponenten (stockwerkunabhängig)	GWP	0,1557397004	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
14	TPO/FPO Dach-und Dichtungsbahn	GWP	0,1095680053	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
15	Pufferspeicher (Stahl)	GWP	0,0759993861	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
16	Lüfter zentral WRG 10 000 m <sup>3</sup> /h	GWP	0,0745607204	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
17	Kalksandstein Mix	GWP	0,0646449870	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
18	Zementmörtel	GWP	0,0627576992	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
19	Brettschichtholz - Standardformen (Durchschnitt DE)	GWP	0,0474907530	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
20	Sand 0/2	GWP	0,0410371425	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
21	Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)	GWP	0,0352989520	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
22	Rohre für Strom-Wärmepumpe (Sole-Wasser, Erdsonde) 10 kW	GWP	0,0324876868	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
23	Massivholzparkett (Durchschnitt DE)	GWP	0,0315345117	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
24	Fußbodenheizung PEX (200 mm Abstand)	GWP	0,0305259238	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
25	Aluminiumprofil beschichtet	GWP	0,0250489827	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
26	Strom-Wärmepumpe (Sole-Wasser, Erdsonde) 10 kW	GWP	0,0227444462	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
27	Spanplatte, roh (Durchschnitt DE)	GWP	0,0225318425	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
28	Keramische Fliesen und Platten	GWP	0,0212536204	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
29	Lüfter zentral 5000 m <sup>3</sup> /h	GWP	0,0174613417	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
30	Holzfaserdämmplatten	GWP	0,0136459840	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
31	Nadelschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE)	GWP	0,0110241213	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
32	Mineralwolle (Innenausbau-Dämmung)	GWP	7,9966073109E-3	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
33	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 30/37	GWP	7,7757637007E-3	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
34	Übergabestation Fernwärme	GWP	6,9231971641E-3	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
35	Stahlprofil	GWP	5,4235205991E-3	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
36	Holz-Blendrahmen	GWP	3,4435488712E-3	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
37	Holz-Flügelrahmen	GWP	3,4055962594E-3	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
38	Kies 2/32	GWP	1,4234758794E-3	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
39	Vegetationssubstrat	GWP	-0,0538314455	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.





## NAWAREUM

### LCA - Ökologische Qualität -

#	Baustoff	Indikator	Gesamt / m <sup>2</sup> <sub>NGFa</sub>	Einheit
1	Photovoltaiksystem 1000 kWh/m <sup>2</sup> *a (ohne Stromgutschrift)	AP	4,4291140391E-3	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
2	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30	AP	1,3051980730E-3	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
3	Solaranlage Flachkollektor	AP	1,2807873229E-3	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
4	Brettsperrholz (Durchschnitt DE)	AP	1,2299483516E-3	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
5	Bewehrungsstahl	AP	9,0630615425E-4	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
6	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 35/45	AP	8,1594851920E-4	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
7	Dreifachverglasung	AP	8,1210129896E-4	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
8	Holzfaserdämmstoff Trockenverfahren (Durchschnitt DE)	AP	6,4621312861E-4	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
9	Fahrstuhl - Grundkomponenten (stockwerkunabhängig)	AP	5,8750194769E-4	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
10	Zementestrich	AP	5,7059052844E-4	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
11	TPO/FPO Dach-und Dichtungsbahn	AP	3,5722005578E-4	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
12	XPS-Dämmstoff	AP	3,3828243734E-4	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
13	Vegetationssubtrat	AP	2,8554434193E-4	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
14	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	AP	2,4571263304E-4	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
15	Sand 0/2	AP	2,1551326730E-4	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
16	Brettschichtholz - Standardformen (Durchschnitt DE)	AP	2,0573715280E-4	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
17	Lüfter zentral WRG 10 000 m <sup>3</sup> /h	AP	2,0217396478E-4	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
18	Massivholzparkett (Durchschnitt DE)	AP	1,9613527938E-4	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
19	Fußbodenheizung PEX (100 mm Abstand)	AP	1,8363928018E-4	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
20	Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)	AP	1,8256687101E-4	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
21	Pufferspeicher (Stahl)	AP	1,1730403705E-4	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
22	Aluminiumprofil beschichtet	AP	1,1516287608E-4	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
23	Zementmörtel	AP	9,0852427215E-5	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
24	Nadelschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE)	AP	7,1065880776E-5	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
25	Kalksandstein Mix	AP	6,2761046169E-5	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
26	Rohre für Strom-Wärmepumpe (Sole-Wasser, Erdsonde) 10 kW	AP	6,1920618876E-5	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
27	Lüfter zentral 5000 m <sup>3</sup> /h	AP	5,9662959428E-5	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
28	Strom-Wärmepumpe (Sole-Wasser, Erdsonde) 10 kW	AP	5,4373964200E-5	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
29	Spanplatte, roh (Durchschnitt DE)	AP	5,1194057058E-5	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
30	Keramische Fliesen und Platten	AP	4,0159709318E-5	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
31	Mineralwolle (Innenausbau-Dämmung)	AP	3,5531668465E-5	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
32	Übergabestation Fernwärme	AP	3,3843906213E-5	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
33	Holzfaserdämmplatten	AP	2,5119283401E-5	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
34	Fußbodenheizung PEX (200 mm Abstand)	AP	2,0663348313E-5	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
35	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 30/37	AP	1,1345198982E-5	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
36	Stahlprofil	AP	1,0633279395E-5	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
37	Holz-Flügelrahmen	AP	9,5011864904E-6	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
38	Holz-Blendrahmen	AP	8,5437550163E-6	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
39	Kies 2/32	AP	7,4756164594E-6	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.



## NAWAREUM

LCA - Ökologische Qualität -

#	Baustoff	Indikator	Gesamt / m <sup>2</sup> <sub>NGFA</sub>	Einheit
1	Photovoltaiksystem 1000 kWh/m <sup>2</sup> *a (ohne Stromgutschrift)	EP	3,5707381151E-4	kg PO4-Äqv.
2	Brettspertholz (Durchschnitt DE)	EP	2,7382915321E-4	kg PO4-Äqv.
3	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30	EP	2,4358155120E-4	kg PO4-Äqv.
4	Dreifachverglasung	EP	1,5809608055E-4	kg PO4-Äqv.
5	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 35/45	EP	1,5367446784E-4	kg PO4-Äqv.
6	Holzfaserdämmstoff Trockenverfahren (Durchschnitt DE)	EP	1,3071816688E-4	kg PO4-Äqv.
7	Bewehrungsstahl	EP	1,2322831967E-4	kg PO4-Äqv.
8	Vegetationssubtrat	EP	1,1664724184E-4	kg PO4-Äqv.
9	Zementestrich	EP	9,0462870972E-5	kg PO4-Äqv.
10	Solaranlage Flachkollektor	EP	4,9177015121E-5	kg PO4-Äqv.
11	Brettschichtholz - Standardformen (Durchschnitt DE)	EP	4,8177179779E-5	kg PO4-Äqv.
12	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	EP	4,6895650162E-5	kg PO4-Äqv.
13	XPS-Dämmstoff	EP	4,5485715193E-5	kg PO4-Äqv.
14	Massivholzparkett (Durchschnitt DE)	EP	4,4769648580E-5	kg PO4-Äqv.
15	Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)	EP	4,0638948356E-5	kg PO4-Äqv.
16	Fahrstuhl - Grundkomponenten (stockwerkunabhängig)	EP	4,0384468973E-5	kg PO4-Äqv.
17	Sand 0/2	EP	3,7389491402E-5	kg PO4-Äqv.
18	Fußbodenheizung PEX (100 mm Abstand)	EP	3,0342392544E-5	kg PO4-Äqv.
19	TPO/FPO Dach-und Dichtungsbahn	EP	2,1064058181E-5	kg PO4-Äqv.
20	Zementmörtel	EP	1,7598391807E-5	kg PO4-Äqv.
21	Lüfter zentral WRG 10 000 m3/h	EP	1,6948562963E-5	kg PO4-Äqv.
22	Spanplatte, roh (Durchschnitt DE)	EP	1,5975998782E-5	kg PO4-Äqv.
23	Nadelschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE)	EP	1,5750515285E-5	kg PO4-Äqv.
24	Kalksandstein Mix	EP	1,4459904661E-5	kg PO4-Äqv.
25	Pufferspeicher (Stahl)	EP	1,3867849634E-5	kg PO4-Äqv.
26	Aluminiumprofil beschichtet	EP	7,8402622311E-6	kg PO4-Äqv.
27	Rohre für Strom-Wärmepumpe (Sole-Wasser, Erdsonde) 10 kW	EP	6,8826974490E-6	kg PO4-Äqv.
28	Strom-Wärmepumpe (Sole-Wasser, Erdsonde) 10 kW	EP	5,5555454836E-6	kg PO4-Äqv.
29	Mineralwolle (Innenausbau-Dämmung)	EP	5,1217753841E-6	kg PO4-Äqv.
30	Holzfaserdämmplatten	EP	4,9952687248E-6	kg PO4-Äqv.
31	Keramische Fliesen und Platten	EP	4,5428809799E-6	kg PO4-Äqv.
32	Lüfter zentral 5000 m3/h	EP	3,9362531680E-6	kg PO4-Äqv.
33	Fußbodenheizung PEX (200 mm Abstand)	EP	3,2001943720E-6	kg PO4-Äqv.
34	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 30/37	EP	2,1173327494E-6	kg PO4-Äqv.
35	Übergabestation Fernwärme	EP	2,0415992484E-6	kg PO4-Äqv.
36	Holz-Flügelrahmen	EP	1,6708243413E-6	kg PO4-Äqv.
37	Holz-Blendrahmen	EP	1,4332037088E-6	kg PO4-Äqv.
38	Kies 2/32	EP	1,2969479830E-6	kg PO4-Äqv.
39	Stahlprofil	EP	1,1955151798E-6	kg PO4-Äqv.

eLCA Version 0.9.7

OBD\_2021\_II\_A1

Stand 27.06.2022

Bearbeiter Kathrin Theilig



## NAWAREUM

### LCA - Ökologische Qualität -

#	Baustoff	Indikator	Gesamt / m <sup>2</sup> <sub>NGFA</sub>	Einheit
1	TPO/FPO Dach-und Dichtungsbahn	ODP	3,9752441809E-9	kg R11-Äqv.
2	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30	ODP	2,3458167887E-10	kg R11-Äqv.
3	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 35/45	ODP	1,5468072108E-10	kg R11-Äqv.
4	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	ODP	4,3234865803E-11	kg R11-Äqv.
5	Photovoltaiksystem 1000 kWh/m2*a (ohne Stromgutschrift)	ODP	8,5870685575E-12	kg R11-Äqv.
6	Strom-Wärmepumpe (Sole-Wasser, Erdsonde) 10 kW	ODP	7,2548237200E-12	kg R11-Äqv.
7	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 30/37	ODP	2,0635303117E-12	kg R11-Äqv.
8	Aluminiumprofil beschichtet	ODP	1,2149568399E-12	kg R11-Äqv.
9	Fahrstuhl - Grundkomponenten (stockwerkunabhängig)	ODP	1,0496788819E-12	kg R11-Äqv.
10	Keramische Fliesen und Platten	ODP	9,2691986567E-13	kg R11-Äqv.
11	Pufferspeicher (Stahl)	ODP	5,4737360846E-13	kg R11-Äqv.
12	Übergabestation Fernwärme	ODP	1,8352208864E-13	kg R11-Äqv.
13	Zementestrich	ODP	1,2752530681E-13	kg R11-Äqv.
14	Lüfter zentral WRG 10 000 m3/h	ODP	5,2139135234E-14	kg R11-Äqv.
15	Bewehrungsstahl	ODP	1,4736240581E-14	kg R11-Äqv.
16	Lüfter zentral 5000 m3/h	ODP	1,4175478722E-14	kg R11-Äqv.
17	Brettsperrholz (Durchschnitt DE)	ODP	7,9352133376E-15	kg R11-Äqv.
18	Vegetationssubtrat	ODP	5,7193646462E-15	kg R11-Äqv.
19	Massivholzparkett (Durchschnitt DE)	ODP	4,1803666484E-15	kg R11-Äqv.
20	Holzfaserdämmstoff Trockenverfahren (Durchschnitt DE)	ODP	3,6030012249E-15	kg R11-Äqv.
21	Solaranlage Flachkollektor	ODP	3,4187792416E-15	kg R11-Äqv.
22	XPS-Dämmstoff	ODP	2,3538163530E-15	kg R11-Äqv.
23	Fußbodenheizung PEX (100 mm Abstand)	ODP	2,0393937904E-15	kg R11-Äqv.
24	Dreifachverglasung	ODP	1,1523792756E-15	kg R11-Äqv.
25	Brettschichtholz - Standardformen (Durchschnitt DE)	ODP	9,5454318721E-16	kg R11-Äqv.
26	Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)	ODP	8,7084128639E-16	kg R11-Äqv.
27	Spanplatte, roh (Durchschnitt DE)	ODP	5,4459603276E-16	kg R11-Äqv.
28	Sand 0/2	ODP	4,2128287567E-16	kg R11-Äqv.
29	Rohre für Strom-Wärmepumpe (Sole-Wasser, Erdsonde) 10 kW	ODP	3,8938776711E-16	kg R11-Äqv.
30	Kalksandstein Mix	ODP	2,9482173917E-16	kg R11-Äqv.
31	Zementmörtel	ODP	2,5877080624E-16	kg R11-Äqv.
32	Nadelschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE)	ODP	2,4158005931E-16	kg R11-Äqv.
33	Fußbodenheizung PEX (200 mm Abstand)	ODP	2,0263082077E-16	kg R11-Äqv.
34	Holzfaserdämmplatten	ODP	1,6232241026E-16	kg R11-Äqv.
35	Mineralwolle (Innenausbau-Dämmung)	ODP	1,2093290146E-16	kg R11-Äqv.
36	Holz-Blendrahmen	ODP	1,1843042440E-16	kg R11-Äqv.
37	Holz-Flügelrahmen	ODP	1,1219139768E-16	kg R11-Äqv.
38	Stahlprofil	ODP	9,2258352163E-17	kg R11-Äqv.
39	Kies 2/32	ODP	1,4613249750E-17	kg R11-Äqv.



# NAWAREUM

## LCA - Ökologische Qualität -

#	Baustoff	Indikator	Gesamt / m <sup>2</sup> <sub>NGFA</sub>	Einheit
1	Photovoltaiksystem 1000 kWh/m <sup>2</sup> *a (ohne Stromgutschrift)	POCP	4,1224087030E-4	kg Ethen-Äqv.
2	Fußbodenheizung PEX (100 mm Abstand)	POCP	3,4450730071E-4	kg Ethen-Äqv.
3	Bewehrungsstahl	POCP	1,8797905252E-4	kg Ethen-Äqv.
4	Holzfaserdämmstoff Trockenverfahren (Durchschnitt DE)	POCP	1,8311634235E-4	kg Ethen-Äqv.
5	Brettsperrholz (Durchschnitt DE)	POCP	1,7704606545E-4	kg Ethen-Äqv.
6	XPS-Dämmstoff	POCP	1,0933468256E-4	kg Ethen-Äqv.
7	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30	POCP	1,0489714583E-4	kg Ethen-Äqv.
8	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 35/45	POCP	6,9885888478E-5	kg Ethen-Äqv.
9	Solaranlage Flachkollektor	POCP	6,2159170048E-5	kg Ethen-Äqv.
10	Fußbodenheizung PEX (200 mm Abstand)	POCP	5,0411686454E-5	kg Ethen-Äqv.
11	Dreifachverglasung	POCP	4,7915974947E-5	kg Ethen-Äqv.
12	Fahrstuhl - Grundkomponenten (stockwerkunabhängig)	POCP	4,6559036787E-5	kg Ethen-Äqv.
13	Zementestrich	POCP	4,4568320958E-5	kg Ethen-Äqv.
14	TPO/FPO Dach-und Dichtungsbahn	POCP	2,8434842478E-5	kg Ethen-Äqv.
15	Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)	POCP	2,5842779234E-5	kg Ethen-Äqv.
16	Spanplatte, roh (Durchschnitt DE)	POCP	2,5429678931E-5	kg Ethen-Äqv.
17	Massivholzparkett (Durchschnitt DE)	POCP	2,0818301517E-5	kg Ethen-Äqv.
18	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	POCP	1,9377279037E-5	kg Ethen-Äqv.
19	Lüfter zentral WRG 10 000 m <sup>3</sup> /h	POCP	1,9233289528E-5	kg Ethen-Äqv.
20	Pufferspeicher (Stahl)	POCP	1,7082576745E-5	kg Ethen-Äqv.
21	Vegetationssubstrat	POCP	1,6727321748E-5	kg Ethen-Äqv.
22	Sand 0/2	POCP	1,4414205829E-5	kg Ethen-Äqv.
23	Nadelschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE)	POCP	1,3005425817E-5	kg Ethen-Äqv.
24	Strom-Wärmepumpe (Sole-Wasser, Erdsonde) 10 kW	POCP	1,1189104131E-5	kg Ethen-Äqv.
25	Brettschichtholz - Standardformen (Durchschnitt DE)	POCP	9,9654113639E-6	kg Ethen-Äqv.
26	Rohre für Strom-Wärmepumpe (Sole-Wasser, Erdsonde) 10 kW	POCP	8,3325699691E-6	kg Ethen-Äqv.
27	Aluminiumprofil beschichtet	POCP	6,3870016082E-6	kg Ethen-Äqv.
28	Zementmörtel	POCP	6,2290342616E-6	kg Ethen-Äqv.
29	Lüfter zentral 5000 m <sup>3</sup> /h	POCP	4,4985988233E-6	kg Ethen-Äqv.
30	Keramische Fliesen und Platten	POCP	3,5257154958E-6	kg Ethen-Äqv.
31	Holzfaserdämmplatten	POCP	2,9617121703E-6	kg Ethen-Äqv.
32	Holz-Blendrahmen	POCP	2,7699832223E-6	kg Ethen-Äqv.
33	Übergabestation Fernwärme	POCP	2,2930593851E-6	kg Ethen-Äqv.
34	Holz-Flügelrahmen	POCP	1,9678484454E-6	kg Ethen-Äqv.
35	Mineralwolle (Innenausbau-Dämmung)	POCP	1,9552781703E-6	kg Ethen-Äqv.
36	Stahlprofil	POCP	1,9243258512E-6	kg Ethen-Äqv.
37	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 30/37	POCP	9,2524019964E-7	kg Ethen-Äqv.
38	Kies 2/32	POCP	4,9999276470E-7	kg Ethen-Äqv.
39	Kalksandstein Mix	POCP	-2,8809038021E-6	kg Ethen-Äqv.



eLCA v0.9.7 BETA

## **Ranking Bauteile WIRKUNGSABSCHÄTZUNG**

Projekt: NAWAREUM  
Projektvariante: ES Bau  
Bearbeiter: Kathrin Theilig  
Stand: 27.06.2022

Bilanzierungszeitraum: 70 Jahre  
Bezugsfläche (NGF): 4322 m<sup>2</sup>



## NAWAREUM

### LCA - Ökologische Qualität -

#	Bauteilkomponente	Menge	Kostengruppe	Verbaut in Bauteil	Indikator	Gesamt / $m^2_{NGFa}$	Einheit
1	FBH Rohre [1840564]	1,00 Stück	422 Wärmeverteilnetze		GWP	0,2775669447	kg CO2-Äqv.
2	Stahl [1840434]	1,00 Stück	324 Unterböden und Bodenplatten		GWP	0,2414578340	kg CO2-Äqv.
3	PR-Fassade Verglasung [1840477]	1,00 Stück	334 Außentüren und -fenster		GWP	0,1624751839	kg CO2-Äqv.
4	Stahl [1840519]	1,00 Stück	341 Tragende Innenwände		GWP	0,1041146755	kg CO2-Äqv.
5	Stahl [1840521]	1,00 Stück	351 Deckenkonstruktionen		GWP	0,0983001495	kg CO2-Äqv.
6	Aufzug [1840577]	1,00 Stück	461 Aufzugsanlagen		GWP	0,0519132335	kg CO2-Äqv.
7	Warmwasserspeicher [1840573]	1,00 Stück	421 Wärmeerzeugungsanlagen		GWP	0,0506662574	kg CO2-Äqv.
8	Stahl [1840484]	1,00 Stück	339 Außenwände, sonstiges		GWP	0,0390430090	kg CO2-Äqv.
9	Lüftungsanlage 0 [1840566]	1,00 Stück	431 Lüftungsanlagen		GWP	0,0372803602	kg CO2-Äqv.
10	Lüftungsanlage 1 [1840567]	1,00 Stück	431 Lüftungsanlagen		GWP	0,0372803602	kg CO2-Äqv.
11	FBH Rohre [1840565]	1,00 Stück	422 Wärmeverteilnetze		GWP	0,0305259238	kg CO2-Äqv.
12	Pufferspeicher Kühlung [1840574]	1,00 Stück	421 Wärmeerzeugungsanlagen		GWP	0,0253331287	kg CO2-Äqv.
13	Solarthermie [1840563]	1,00 Stück	421 Wärmeerzeugungsanlagen		GWP	0,0230921448	kg CO2-Äqv.
14	Oberlicht [1840530]	1,00 Stück	362 Dachfenster, Dachöffnungen		GWP	0,0176226462	kg CO2-Äqv.
15	Wärmepumpe [1847130]	1,00 Stück	421 Wärmeerzeugungsanlagen		GWP	0,0113722231	kg CO2-Äqv.
16	Fernwärmeanschluss [1840572]	1,00 Stück	421 Wärmeerzeugungsanlagen		GWP	6,9231971641E-3	kg CO2-Äqv.
17	Photovoltaikanlage [1840576]	1,00 Stück	442 Eigenstromversorgungsanlagen		GWP	6,8595536944E-3	kg CO2-Äqv.
18	Profilstahl [1840523]	1,00 Stück	351 Deckenkonstruktionen		GWP	5,4235205991E-3	kg CO2-Äqv.



# NAWAREUM

## LCA - Ökologische Qualität -

#	Bauteilkomponente	Menge	Kostengruppe	Verbaut in Bauteil	Indikator	Gesamt / m <sup>2</sup> <sub>NGFa</sub>	Einheit
19	Lüftungsanlage 2 [1840568]	1,00 Stück	431 Lüftungsanlagen		GWP	4,3653354193E-3	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
20	Lüftungsanlage 3 [1840569]	1,00 Stück	431 Lüftungsanlagen		GWP	4,3653354193E-3	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
21	Lüftungsanlage 4 [1840570]	1,00 Stück	431 Lüftungsanlagen		GWP	4,3653354193E-3	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
22	Lüftungsanlage 5 [1840571]	1,00 Stück	431 Lüftungsanlagen		GWP	4,3653354193E-3	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
23	Ausstellungskern 1 [1840500]	1,00 Stück	343 Innenstützen		GWP	2,8887747786E-3	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
24	Ausstellungskern 2 [1840511]	1,00 Stück	343 Innenstützen		GWP	2,6665613341E-3	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
25	Fenster Typ 2 [1840472]	1,00 Stück	334 Außentüren und -fenster		GWP	2,1131833302E-3	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
26	Geothermiesonden [1845431]	1,00 Stück	421 Wärmeerzeugungsanlagen		GWP	2,0304804242E-3	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
27	Randstreifen [1840560]	1,00 Stück	363 Dachbeläge		GWP	1,4234758794E-3	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
28	Fenster Typ 1 [1840470]	1,00 Stück	334 Außentüren und -fenster		GWP	1,2912674267E-3	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
29	Treppen [1840525]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		GWP	1,1156045482E-3	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
30	Treppen Holz [1840543]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		GWP	6,2219764463E-4	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
31	Unterzug 5 [1840541]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		GWP	5,5553361127E-4	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
32	Holzstützen [1840453]	1,00 m <sup>2</sup>	333 Außenstützen		GWP	5,1076309974E-4	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
33	Fenster Typ 4 [1840473]	1,00 Stück	334 Außentüren und -fenster		GWP	4,8018123127E-4	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
34	Dämmung AW-erdb. [1840438]	1,00 m <sup>2</sup>	331 Tragende Außenwände		GWP	2,8366336013E-4	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
35	Dämmung Stirnseite Bodenplatte [1840432]	1,00 m <sup>2</sup>	324 Unterböden und Bodenplatten		GWP	2,8366336013E-4	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
36	Mauerwerk Innenwand [1840492]	1,00 m <sup>2</sup>	342 Nichttragende Innenwände		GWP	2,5350975307E-4	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
37	Unterzug 3 [1840539]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		GWP	2,4887905785E-4	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.



# NAWAREUM

## LCA - Ökologische Qualität -

#	Bauteilkomponente	Menge	Kostengruppe	Verbaut in Bauteil	Indikator	Gesamt / m <sup>2</sup> <sub>NGFa</sub>	Einheit
38	Baumstützen Vordach [1840479]	1,00 Stück	333 Außenstützen		GWP	2,2258399790E-4	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
39	Unterzug + Deckenplatten [1840520]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		GWP	2,0659251669E-4	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
40	Treppenpodeste [1840524]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		GWP	2,0130561248E-4	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
41	Mauerwerk Schacht [1840493]	1,00 m <sup>2</sup>	342 Nichttragende Innenwände		GWP	1,9013231480E-4	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
42	Rähm, Rippenplatten [1840551]	1,00 m <sup>2</sup>	361 Dachkonstruktionen		GWP	1,7777075561E-4	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
43	Rundstütze DM 32 [1840497]	1,00 Stück	343 Innenstützen		GWP	1,7247318709E-4	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
44	Fundamente [1840266]	1,00 m <sup>2</sup>	322 Flachgründungen		GWP	1,6775467707E-4	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
45	Außenwand StB [1747342]	1,00 m <sup>2</sup>	331 Tragende Außenwände		GWP	1,6775467707E-4	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
46	Innenwände [1840487]	1,00 m <sup>2</sup>	341 Tragende Innenwände		GWP	1,6775467707E-4	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
47	Rundstütze DM 30 [1840498]	1,00 Stück	343 Innenstützen		GWP	1,6037366504E-4	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
48	Unterzug 1 [1840538]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		GWP	1,5999368005E-4	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
49	Alu-Verkleidung PR-Fassade [1840475]	1,00 m <sup>2</sup>	334 Außentüren und -fenster		GWP	1,5334547101E-4	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
50	Unterzug 2 [1840536]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		GWP	1,4221660449E-4	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
51	Dämmung Bodenplatte [1840431]	1,00 m <sup>2</sup>	324 Unterböden und Bodenplatten		GWP	1,4183168007E-4	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
52	Estrich [1840547]	1,00 m <sup>2</sup>	352 Deckenbeläge		GWP	1,2769921629E-4	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
53	Stütze [1840499]	1,00 Stück	343 Innenstützen		GWP	1,1519544963E-4	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
54	Brettstapeldecke [1840542]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		GWP	9,7773915584E-5	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
55	Dämmung Dach [1840556]	1,00 m <sup>2</sup>	363 Dachbeläge		GWP	9,7448073840E-5	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
56	Unterzug 4 [1840540]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		GWP	8,8885377804E-5	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.





# NAWAREUM

## LCA - Ökologische Qualität -

#	Bauteilkomponente	Menge	Kostengruppe	Verbaut in Bauteil	Indikator	Gesamt / m <sup>2</sup> <sub>NGFa</sub>	Einheit
57	Innenstützen [1840485]	1,00 m <sup>2</sup>	343 Innenstützen		GWP	8,2637006677E-5	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
58	Dämmung Außenwand [1840440]	1,00 m <sup>2</sup>	331 Tragende Außenwände		GWP	7,3751375916E-5	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
59	BSH Wände + Ausstellungskern [1840513]	1,00 m <sup>2</sup>	341 Tragende Innenwände		GWP	5,3331226682E-5	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
60	Dachabdichtung [1840549]	1,00 m <sup>2</sup>	363 Dachbeläge		GWP	5,2175240620E-5	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
61	Fliesen [1840494]	1,00 m <sup>2</sup>	345 Innenwandbekleidungen		GWP	4,2936606925E-5	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
62	Auffüllung C16/10 [1840428]	1,00 m <sup>2</sup>	324 Unterböden und Bodenplatten		GWP	3,0410854763E-5	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
63	Sauberkeitsschicht C12/25 [1840427]	1,00 m <sup>2</sup>	324 Unterböden und Bodenplatten		GWP	3,0410854763E-5	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
64	Vordach Sparren [1840481]	1,00 m <sup>2</sup>	361 Dachkonstruktionen		GWP	2,9078842237E-5	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
65	Sparren [1840553]	1,00 m <sup>2</sup>	361 Dachkonstruktionen		GWP	2,9078842237E-5	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
66	Parkett [1840544]	1,00 m <sup>2</sup>	352 Deckenbeläge		GWP	2,7421314521E-5	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
67	Holzfasertrennwände [1840518]	1,00 m <sup>2</sup>	345 Innenwandbekleidungen		GWP	2,7068909400E-5	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
68	Akustikdecke [1840545]	1,00 m <sup>2</sup>	353 Deckenbekleidungen		GWP	2,6665613341E-5	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
69	Magerbeton [1840429]	1,00 m <sup>2</sup>	324 Unterböden und Bodenplatten		GWP	2,5103079661E-5	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
70	Vordach Dämmung [1840482]	1,00 m <sup>2</sup>	361 Dachkonstruktionen		GWP	2,1655127520E-5	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
71	Bodenverbesserung [1828931]	1,00 m <sup>2</sup>	321 Baugrundverbesserung		GWP	2,1373511703E-5	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
72	Schalung [1840554]	1,00 m <sup>2</sup>	363 Dachbeläge		GWP	1,1858864489E-5	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
73	Holzverkleidung Außenwand [1840455]	1,00 m <sup>2</sup>	335 Außenwandbekleidungen, außen		GWP	1,1471510218E-5	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
74	Trittschalldämmung [1840533]	1,00 m <sup>2</sup>	352 Deckenbeläge		GWP	1,0827563760E-5	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
75	Auffüllung C12/25 [1840267]	1,00 m <sup>2</sup>	324 Unterböden und Bodenplatten		GWP	6,0821709526E-6	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.



## NAWAREUM

LCA - Ökologische Qualität -

#	Bauteilkomponente	Menge	Kostengruppe	Verbaut in Bauteil	Indikator	Gesamt / $m^2_{NGFa}$	Einheit
76	Hohlraumdämmung [1840534]	1,00 m <sup>2</sup>	352 Deckenbeläge		GWP	5,4771282951E-6	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
77	MW Dämmung [1840517]	1,00 m <sup>2</sup>	345 Innenwandbekleidungen		GWP	5,4771282951E-6	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
78	Wärmedämmung FB [1840531]	1,00 m <sup>2</sup>	352 Deckenbeläge		GWP	5,4137818800E-6	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
79	Vordach Rippenplattenelemente [1840480]	1,00 m <sup>2</sup>	361 Dachkonstruktionen		GWP	1,1021786848E-6	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.
80	Vegetationssubstrat [1840561]	1,00 Stück	363 Dachbeläge		GWP	-0,0538314455	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.

eLCA Version 0.9.7	OBD_2021_II_A1	Stand 27.06.2022	Bearbeiter Kathrin Theilig
--------------------	----------------	------------------	----------------------------



# NAWAREUM

## LCA - Ökologische Qualität -

#	Bauteilkomponente	Menge	Kostengruppe	Verbaut in Bauteil	Indikator	Gesamt / $m^2_{NGFa}$	Einheit
1	PR-Fassade Verglasung [1840477]	1,00 Stück	334 Außentüren und -fenster		AP	6,2158321447E-4	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
2	Stahl [1840434]	1,00 Stück	324 Unterböden und Bodenplatten		AP	4,5315307713E-4	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
3	Vegetationssubstrat [1840561]	1,00 Stück	363 Dachbeläge		AP	2,8554434193E-4	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
4	Aufzug [1840577]	1,00 Stück	461 Aufzugsanlagen		AP	1,9583398256E-4	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
5	Stahl [1840519]	1,00 Stück	341 Tragende Innenwände		AP	1,9539596129E-4	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
6	Stahl [1840521]	1,00 Stück	351 Deckenkonstruktionen		AP	1,8448361976E-4	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
7	FBH Rohre [1840564]	1,00 Stück	422 Wärmeverteilnetze		AP	1,8363928018E-4	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
8	Solarthermie [1840563]	1,00 Stück	421 Wärmeerzeugungsanlagen		AP	1,8296961756E-4	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
9	Lüftungsanlage 0 [1840566]	1,00 Stück	431 Lüftungsanlagen		AP	1,0108698239E-4	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
10	Lüftungsanlage 1 [1840567]	1,00 Stück	431 Lüftungsanlagen		AP	1,0108698239E-4	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
11	Warmwasserspeicher [1840573]	1,00 Stück	421 Wärmeerzeugungsanlagen		AP	7,8202691366E-5	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
12	Stahl [1840484]	1,00 Stück	339 Außenwände, sonstiges		AP	7,3273496079E-5	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
13	Oberlicht [1840530]	1,00 Stück	362 Dachfenster, Dachöffnungen		AP	6,6631284154E-5	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
14	Pufferspeicher Kühlung [1840574]	1,00 Stück	421 Wärmeerzeugungsanlagen		AP	3,9101345683E-5	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
15	Fernwärmeanschluss [1840572]	1,00 Stück	421 Wärmeerzeugungsanlagen		AP	3,3843906213E-5	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
16	Wärmepumpe [1847130]	1,00 Stück	421 Wärmeerzeugungsanlagen		AP	2,7186982100E-5	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
17	Photovoltaikanlage [1840576]	1,00 Stück	442 Eigenstromversorgungsanlagen		AP	2,5165420677E-5	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
18	FBH Rohre [1840565]	1,00 Stück	422 Wärmeverteilnetze		AP	2,0663348313E-5	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.



# NAWAREUM

## LCA - Ökologische Qualität -

#	Bauteilkomponente	Menge	Kostengruppe	Verbaut in Bauteil	Indikator	Gesamt / m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>	Einheit
19	Lüftungsanlage 2 [1840568]	1,00 Stück	431 Lüftungsanlagen		AP	1,4915739857E-5	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
20	Lüftungsanlage 3 [1840569]	1,00 Stück	431 Lüftungsanlagen		AP	1,4915739857E-5	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
21	Lüftungsanlage 4 [1840570]	1,00 Stück	431 Lüftungsanlagen		AP	1,4915739857E-5	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
22	Lüftungsanlage 5 [1840571]	1,00 Stück	431 Lüftungsanlagen		AP	1,4915739857E-5	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
23	Ausstellungskern 1 [1840500]	1,00 Stück	343 Innenstützen		AP	1,0983325649E-5	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
24	Profilstahl [1840523]	1,00 Stück	351 Deckenkonstruktionen		AP	1,0633279395E-5	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
25	Ausstellungskern 2 [1840511]	1,00 Stück	343 Innenstützen		AP	1,0138454445E-5	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
26	Fenster Typ 2 [1840472]	1,00 Stück	334 Außentüren und -fenster		AP	7,8148113152E-6	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
27	Randstreifen [1840560]	1,00 Stück	363 Dachbeläge		AP	7,4756164594E-6	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
28	Fenster Typ 1 [1840470]	1,00 Stück	334 Außentüren und -fenster		AP	4,7118588964E-6	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
29	Geothermiesonden [1845431]	1,00 Stück	421 Wärmeerzeugungsanlagen		AP	3,8700386798E-6	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
30	Treppen Holz [1840543]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		AP	2,3656393706E-6	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
31	Holzstützen [1840453]	1,00 m <sup>2</sup>	333 Außenstützen		AP	2,2127032996E-6	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
32	Unterzug 5 [1840541]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		AP	2,1121780094E-6	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
33	Fenster Typ 4 [1840473]	1,00 Stück	334 Außentüren und -fenster		AP	1,7095676492E-6	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
34	Treppen [1840525]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		AP	1,6277186488E-6	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
35	Baumstützen Vordach [1840479]	1,00 Stück	333 Außenstützen		AP	1,1512087965E-6	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
36	Unterzug 3 [1840539]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		AP	9,4625574823E-7	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
37	Alu-Verkleidung PR-Fassade [1840475]	1,00 m <sup>2</sup>	334 Außentüren und -fenster		AP	7,0500689363E-7	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.



# NAWAREUM

## LCA - Ökologische Qualität -

#	Bauteilkomponente	Menge	Kostengruppe	Verbaut in Bauteil	Indikator	Gesamt / $m^2_{NGF\ddot{a}}$	Einheit
38	Rähm, Rippenplatten [1840551]	1,00 $m^2$	361 Dachkonstruktionen		AP	6,7589696302E-7	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
39	Rundstütze DM 32 [1840497]	1,00 Stück	343 Innenstützen		AP	6,5575523352E-7	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
40	Rundstütze DM 30 [1840498]	1,00 Stück	343 Innenstützen		AP	6,0975199648E-7	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
41	Unterzug 1 [1840538]	1,00 $m^2$	351 Deckenkonstruktionen		AP	6,0830726672E-7	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
42	Unterzug 2 [1840536]	1,00 $m^2$	351 Deckenkonstruktionen		AP	5,4071757041E-7	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
43	Stütze [1840499]	1,00 Stück	343 Innenstützen		AP	4,3798123204E-7	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
44	Brettstapeldecke [1840542]	1,00 $m^2$	351 Deckenkonstruktionen		AP	3,7174332966E-7	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
45	Unterzug 4 [1840540]	1,00 $m^2$	351 Deckenkonstruktionen		AP	3,3794848151E-7	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
46	Unterzug + Deckenplatten [1840520]	1,00 $m^2$	351 Deckenkonstruktionen		AP	2,9690288887E-7	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
47	Treppenpodeste [1840524]	1,00 $m^2$	351 Deckenkonstruktionen		AP	2,9579559728E-7	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
48	Fundamente [1840266]	1,00 $m^2$	322 Flachgründungen		AP	2,4649633106E-7	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
49	Außenwand StB [1747342]	1,00 $m^2$	331 Tragende Außenwände		AP	2,4649633106E-7	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
50	Innenwände [1840487]	1,00 $m^2$	341 Tragende Innenwände		AP	2,4649633106E-7	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
51	Mauerwerk Innenwand [1840492]	1,00 $m^2$	342 Nichttragende Innenwände		AP	2,4612174968E-7	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
52	BSH Wände + Ausstellungskern [1840513]	1,00 $m^2$	341 Tragende Innenwände		AP	2,0276908891E-7	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
53	Dämmung Dach [1840556]	1,00 $m^2$	363 Dachbeläge		AP	1,9151469170E-7	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
54	Dämmung AW-erdb. [1840438]	1,00 $m^2$	331 Tragende Außenwände		AP	1,8536023964E-7	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
55	Dämmung Stirnseite Bodenplatte [1840432]	1,00 $m^2$	324 Unterböden und Bodenplatten		AP	1,8536023964E-7	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
56	Mauerwerk Schacht [1840493]	1,00 $m^2$	342 Nichttragende Innenwände		AP	1,8459131226E-7	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.



# NAWAREUM

## LCA - Ökologische Qualität -

#	Bauteilkomponente	Menge	Kostengruppe	Verbaut in Bauteil	Indikator	Gesamt / m <sup>2</sup> <sub>NGF<sub>a</sub></sub>	Einheit
57	Parkett [1840544]	1,00 m <sup>2</sup>	352 Deckenbeläge		AP	1,7055241685E-7	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
58	Dachabdichtung [1840549]	1,00 m <sup>2</sup>	363 Dachbeläge		AP	1,7010478847E-7	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
59	Estrich [1840547]	1,00 m <sup>2</sup>	352 Deckenbeläge		AP	1,6925191796E-7	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
60	Sparren [1840553]	1,00 m <sup>2</sup>	361 Dachkonstruktionen		AP	1,5039634156E-7	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
61	Vordach Sparren [1840481]	1,00 m <sup>2</sup>	361 Dachkonstruktionen		AP	1,5039634156E-7	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
62	Dämmung Außenwand [1840440]	1,00 m <sup>2</sup>	331 Tragende Außenwände		AP	1,4317544844E-7	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
63	Innenstützen [1840485]	1,00 m <sup>2</sup>	343 Innenstützen		AP	1,1876115555E-7	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
64	Bodenverbesserung [1828931]	1,00 m <sup>2</sup>	321 Baugrundverbesserung		AP	1,1224649338E-7	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
65	Akustikdecke [1840545]	1,00 m <sup>2</sup>	353 Deckenbekleidungen		AP	1,0138454445E-7	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
66	Dämmung Bodenplatte [1840431]	1,00 m <sup>2</sup>	324 Unterböden und Bodenplatten		AP	9,2680119820E-8	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
67	Fliesen [1840494]	1,00 m <sup>2</sup>	345 Innenwandbekleidungen		AP	8,1130725895E-8	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
68	Holzverkleidung Außenwand [1840455]	1,00 m <sup>2</sup>	335 Außenwandbekleidungen, außen		AP	7,3949927967E-8	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
69	Holzfaser Trennwände [1840518]	1,00 m <sup>2</sup>	345 Innenwandbekleidungen		AP	5,3198525472E-8	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
70	Auffüllung C16/10 [1840428]	1,00 m <sup>2</sup>	324 Unterböden und Bodenplatten		AP	4,5002313744E-8	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
71	Sauberkeitsschicht C12/25 [1840427]	1,00 m <sup>2</sup>	324 Unterböden und Bodenplatten		AP	4,5002313744E-8	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
72	Vordach Dämmung [1840482]	1,00 m <sup>2</sup>	361 Dachkonstruktionen		AP	4,2558820378E-8	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
73	Magerbeton [1840429]	1,00 m <sup>2</sup>	324 Unterböden und Bodenplatten		AP	3,6340970886E-8	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
74	Schalung [1840554]	1,00 m <sup>2</sup>	363 Dachbeläge		AP	2,6944240557E-8	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
75	Hohlraumdämmung [1840534]	1,00 m <sup>2</sup>	352 Deckenbeläge		AP	2,4336759223E-8	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.



## NAWAREUM

LCA - Ökologische Qualität -

#	Bauteilkomponente	Menge	Kostengruppe	Verbaut in Bauteil	Indikator	Gesamt / m <sup>2</sup> <sub>NGF<sup>a</sup></sub>	Einheit
76	MW Dämmung [1840517]	1,00 m <sup>2</sup>	345 Innenwandbekleidungen		AP	2,4336759223E-8	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
77	Trittschalldämmung [1840533]	1,00 m <sup>2</sup>	352 Deckenbeläge		AP	2,1279410189E-8	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
78	Wärmedämmung FB [1840531]	1,00 m <sup>2</sup>	352 Deckenbeläge		AP	1,0639705094E-8	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
79	Auffüllung C12/25 [1840267]	1,00 m <sup>2</sup>	324 Unterböden und Bodenplatten		AP	9,0004627487E-9	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.
80	Vordach Rippenplattenelemente [1840480]	1,00 m <sup>2</sup>	361 Dachkonstruktionen		AP	4,1905611707E-9	kg SO <sub>2</sub> -Äqv.

eLCA Version 0.9.7	OBD_2021_II_A1	Stand 27.06.2022	Bearbeiter Kathrin Theilig
--------------------	----------------	------------------	----------------------------



# NAWAREUM

## LCA - Ökologische Qualität -

#	Bauteilkomponente	Menge	Kostengruppe	Verbaut in Bauteil	Indikator	Gesamt / m <sup>2</sup> <sub>NGFa</sub>	Einheit
1	PR-Fassade Verglasung [1840477]	1,00 Stück	334 Außentüren und -fenster		EP	1,2100691142E-4	kg PO4-Äqv.
2	Vegetationssubstrat [1840561]	1,00 Stück	363 Dachbeläge		EP	1,1664724184E-4	kg PO4-Äqv.
3	Stahl [1840434]	1,00 Stück	324 Unterböden und Bodenplatten		EP	6,1614159837E-5	kg PO4-Äqv.
4	FBH Rohre [1840564]	1,00 Stück	422 Wärmeverteilnetze		EP	3,0342392544E-5	kg PO4-Äqv.
5	Stahl [1840519]	1,00 Stück	341 Tragende Innenwände		EP	2,6567530042E-5	kg PO4-Äqv.
6	Stahl [1840521]	1,00 Stück	351 Deckenkonstruktionen		EP	2,5083804589E-5	kg PO4-Äqv.
7	Aufzug [1840577]	1,00 Stück	461 Aufzugsanlagen		EP	1,3461489658E-5	kg PO4-Äqv.
8	Oberlicht [1840530]	1,00 Stück	362 Dachfenster, Dachöffnungen		EP	1,2931967704E-5	kg PO4-Äqv.
9	Stahl [1840484]	1,00 Stück	339 Außenwände, sonstiges		EP	9,9628252067E-6	kg PO4-Äqv.
10	Warmwasserspeicher [1840573]	1,00 Stück	421 Wärmeerzeugungsanlagen		EP	9,2452330891E-6	kg PO4-Äqv.
11	Lüftungsanlage 0 [1840566]	1,00 Stück	431 Lüftungsanlagen		EP	8,4742814817E-6	kg PO4-Äqv.
12	Lüftungsanlage 1 [1840567]	1,00 Stück	431 Lüftungsanlagen		EP	8,4742814817E-6	kg PO4-Äqv.
13	Solarthermie [1840563]	1,00 Stück	421 Wärmeerzeugungsanlagen		EP	7,0252878744E-6	kg PO4-Äqv.
14	Pufferspeicher Kühlung [1840574]	1,00 Stück	421 Wärmeerzeugungsanlagen		EP	4,6226165445E-6	kg PO4-Äqv.
15	FBH Rohre [1840565]	1,00 Stück	422 Wärmeverteilnetze		EP	3,2001943720E-6	kg PO4-Äqv.
16	Wärmepumpe [1847130]	1,00 Stück	421 Wärmeerzeugungsanlagen		EP	2,7777727418E-6	kg PO4-Äqv.
17	Ausstellungskern 1 [1840500]	1,00 Stück	343 Innenstützen		EP	2,4452691513E-6	kg PO4-Äqv.
18	Ausstellungskern 2 [1840511]	1,00 Stück	343 Innenstützen		EP	2,2571715243E-6	kg PO4-Äqv.





# NAWAREUM

## LCA - Ökologische Qualität -

#	Bauteilkomponente	Menge	Kostengruppe	Verbaut in Bauteil	Indikator	Gesamt / $m^2_{NGF\ddot{a}}$	Einheit
19	Fernwärmeanschluss [1840572]	1,00 Stück	421 Wärmeerzeugungsanlagen		EP	2,0415992484E-6	kg PO4-Äqv.
20	Photovoltaikanlage [1840576]	1,00 Stück	442 Eigenstromversorgungsanlagen		EP	2,0288284745E-6	kg PO4-Äqv.
21	Fenster Typ 2 [1840472]	1,00 Stück	334 Außentüren und -fenster		EP	1,5078363868E-6	kg PO4-Äqv.
22	Randstreifen [1840560]	1,00 Stück	363 Dachbeläge		EP	1,2969479830E-6	kg PO4-Äqv.
23	Profilstahl [1840523]	1,00 Stück	351 Deckenkonstruktionen		EP	1,1955151798E-6	kg PO4-Äqv.
24	Lüftungsanlage 2 [1840568]	1,00 Stück	431 Lüftungsanlagen		EP	9,8406329200E-7	kg PO4-Äqv.
25	Lüftungsanlage 3 [1840569]	1,00 Stück	431 Lüftungsanlagen		EP	9,8406329200E-7	kg PO4-Äqv.
26	Lüftungsanlage 4 [1840570]	1,00 Stück	431 Lüftungsanlagen		EP	9,8406329200E-7	kg PO4-Äqv.
27	Lüftungsanlage 5 [1840571]	1,00 Stück	431 Lüftungsanlagen		EP	9,8406329200E-7	kg PO4-Äqv.
28	Fenster Typ 1 [1840470]	1,00 Stück	334 Außentüren und -fenster		EP	9,0584688067E-7	kg PO4-Äqv.
29	Treppen Holz [1840543]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		EP	5,2667335567E-7	kg PO4-Äqv.
30	Holzstützen [1840453]	1,00 m <sup>2</sup>	333 Außenstützen		EP	5,1814562034E-7	kg PO4-Äqv.
31	Unterzug 5 [1840541]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		EP	4,7024406756E-7	kg PO4-Äqv.
32	Geothermiesonden [1845431]	1,00 Stück	421 Wärmeerzeugungsanlagen		EP	4,3016859056E-7	kg PO4-Äqv.
33	Fenster Typ 4 [1840473]	1,00 Stück	334 Außentüren und -fenster		EP	3,2642326332E-7	kg PO4-Äqv.
34	Treppen [1840525]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		EP	3,0377801282E-7	kg PO4-Äqv.
35	Baumstützen Vordach [1840479]	1,00 Stück	333 Außenstützen		EP	2,5625632170E-7	kg PO4-Äqv.
36	Unterzug 3 [1840539]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		EP	2,1066934227E-7	kg PO4-Äqv.
37	Rähm, Rippenplatten [1840551]	1,00 m <sup>2</sup>	361 Dachkonstruktionen		EP	1,5047810162E-7	kg PO4-Äqv.



# NAWAREUM

## LCA - Ökologische Qualität -

#	Bauteilkomponente	Menge	Kostengruppe	Verbaut in Bauteil	Indikator	Gesamt / $m^2_{NGF\ddot{a}}$	Einheit
38	Rundstütze DM 32 [1840497]	1,00 Stück	343 Innenstützen		EP	1,4599385419E-7	kg PO4-Äqv.
39	Rundstütze DM 30 [1840498]	1,00 Stück	343 Innenstützen		EP	1,3575193840E-7	kg PO4-Äqv.
40	Unterzug 1 [1840538]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		EP	1,3543029146E-7	kg PO4-Äqv.
41	Unterzug 2 [1840536]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		EP	1,2038248130E-7	kg PO4-Äqv.
42	Stütze [1840499]	1,00 Stück	343 Innenstützen		EP	9,7509809849E-8	kg PO4-Äqv.
43	Brettstapeldecke [1840542]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		EP	8,2762955891E-8	kg PO4-Äqv.
44	Unterzug 4 [1840540]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		EP	7,5239050810E-8	kg PO4-Äqv.
45	Mauerwerk Innenwand [1840492]	1,00 m <sup>2</sup>	342 Nichttragende Innenwände		EP	5,6705508476E-8	kg PO4-Äqv.
46	Unterzug + Deckenplatten [1840520]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		EP	5,5918225689E-8	kg PO4-Äqv.
47	Treppenpodeste [1840524]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		EP	5,5202617836E-8	kg PO4-Äqv.
48	Alu-Verkleidung PR-Fassade [1840475]	1,00 m <sup>2</sup>	334 Außentüren und -fenster		EP	4,7996707873E-8	kg PO4-Äqv.
49	Fundamente [1840266]	1,00 m <sup>2</sup>	322 Flachgründungen		EP	4,6002181530E-8	kg PO4-Äqv.
50	Außenwand StB [1747342]	1,00 m <sup>2</sup>	331 Tragende Außenwände		EP	4,6002181530E-8	kg PO4-Äqv.
51	Innenwände [1840487]	1,00 m <sup>2</sup>	341 Tragende Innenwände		EP	4,6002181530E-8	kg PO4-Äqv.
52	BSH Wände + Ausstellungskern [1840513]	1,00 m <sup>2</sup>	341 Tragende Innenwände		EP	4,5143430486E-8	kg PO4-Äqv.
53	Mauerwerk Schacht [1840493]	1,00 m <sup>2</sup>	342 Nichttragende Innenwände		EP	4,2529131357E-8	kg PO4-Äqv.
54	Parkett [1840544]	1,00 m <sup>2</sup>	352 Deckenbeläge		EP	3,8930129200E-8	kg PO4-Äqv.
55	Dämmung Dach [1840556]	1,00 m <sup>2</sup>	363 Dachbeläge		EP	3,8740236497E-8	kg PO4-Äqv.
56	Vordach Sparren [1840481]	1,00 m <sup>2</sup>	361 Dachkonstruktionen		EP	3,3477865530E-8	kg PO4-Äqv.



# NAWAREUM

## LCA - Ökologische Qualität -

#	Bauteilkomponente	Menge	Kostengruppe	Verbaut in Bauteil	Indikator	Gesamt / m <sup>2</sup> <sub>NGFa</sub>	Einheit
57	Sparren [1840553]	1,00 m <sup>2</sup>	361 Dachkonstruktionen		EP	3,3477865530E-8	kg PO4-Äqv.
58	Dämmung Außenwand [1840440]	1,00 m <sup>2</sup>	331 Tragende Außenwände		EP	2,8872579319E-8	kg PO4-Äqv.
59	Estrich [1840547]	1,00 m <sup>2</sup>	352 Deckenbeläge		EP	2,6833628764E-8	kg PO4-Äqv.
60	Dämmung Stirnseite Bodenplatte [1840432]	1,00 m <sup>2</sup>	324 Unterböden und Bodenplatten		EP	2,4923679558E-8	kg PO4-Äqv.
61	Dämmung AW-erdb. [1840438]	1,00 m <sup>2</sup>	331 Tragende Außenwände		EP	2,4923679558E-8	kg PO4-Äqv.
62	Akustikdecke [1840545]	1,00 m <sup>2</sup>	353 Deckenbekleidungen		EP	2,2571715243E-8	kg PO4-Äqv.
63	Innenstützen [1840485]	1,00 m <sup>2</sup>	343 Innenstützen		EP	2,2367290276E-8	kg PO4-Äqv.
64	Bodenverbesserung [1828931]	1,00 m <sup>2</sup>	321 Baugrundverbesserung		EP	1,9473693439E-8	kg PO4-Äqv.
65	Holzverkleidung Außenwand [1840455]	1,00 m <sup>2</sup>	335 Außenwandbekleidungen, außen		EP	1,6389714136E-8	kg PO4-Äqv.
66	Dämmung Bodenplatte [1840431]	1,00 m <sup>2</sup>	324 Unterböden und Bodenplatten		EP	1,2461839779E-8	kg PO4-Äqv.
67	Holzfaser Trennwände [1840518]	1,00 m <sup>2</sup>	345 Innenwandbekleidungen		EP	1,0761176805E-8	kg PO4-Äqv.
68	Dachabdichtung [1840549]	1,00 m <sup>2</sup>	363 Dachbeläge		EP	1,0030503896E-8	kg PO4-Äqv.
69	Fliesen [1840494]	1,00 m <sup>2</sup>	345 Innenwandbekleidungen		EP	9,1775373332E-9	kg PO4-Äqv.
70	Vordach Dämmung [1840482]	1,00 m <sup>2</sup>	361 Dachkonstruktionen		EP	8,6089414437E-9	kg PO4-Äqv.
71	Auffüllung C16/10 [1840428]	1,00 m <sup>2</sup>	324 Unterböden und Bodenplatten		EP	8,5889469161E-9	kg PO4-Äqv.
72	Sauberkeitsschicht C12/25 [1840427]	1,00 m <sup>2</sup>	324 Unterböden und Bodenplatten		EP	8,5889469161E-9	kg PO4-Äqv.
73	Schalung [1840554]	1,00 m <sup>2</sup>	363 Dachbeläge		EP	8,4084204117E-9	kg PO4-Äqv.
74	Magerbeton [1840429]	1,00 m <sup>2</sup>	324 Unterböden und Bodenplatten		EP	7,0393567226E-9	kg PO4-Äqv.
75	Trittschalldämmung [1840533]	1,00 m <sup>2</sup>	352 Deckenbeläge		EP	4,3044707219E-9	kg PO4-Äqv.



## NAWAREUM

LCA - Ökologische Qualität -

#	Bauteilkomponente	Menge	Kostengruppe	Verbaut in Bauteil	Indikator	Gesamt / $m^2_{NGFa}$	Einheit
76	Hohlraumdämmung [1840534]	1,00 m <sup>2</sup>	352 Deckenbeläge		EP	3,5080653316E-9	kg PO4-Äqv.
77	MW Dämmung [1840517]	1,00 m <sup>2</sup>	345 Innenwandbekleidungen		EP	3,5080653316E-9	kg PO4-Äqv.
78	Wärmedämmung FB [1840531]	1,00 m <sup>2</sup>	352 Deckenbeläge		EP	2,1522353609E-9	kg PO4-Äqv.
79	Auffüllung C12/25 [1840267]	1,00 m <sup>2</sup>	324 Unterböden und Bodenplatten		EP	1,7177893832E-9	kg PO4-Äqv.
80	Vordach Rippenplattenelemente [1840480]	1,00 m <sup>2</sup>	361 Dachkonstruktionen		EP	9,3296423004E-10	kg PO4-Äqv.

eLCA Version 0.9.7

OBD\_2021\_II\_A1

Stand 27.06.2022

Bearbeiter Kathrin Theilig



# NAWAREUM

## LCA - Ökologische Qualität -

#	Bauteilkomponente	Menge	Kostengruppe	Verbaut in Bauteil	Indikator	Gesamt / m <sup>2</sup> <sub>NGFä</sub>	Einheit
1	Wärmepumpe [1847130]	1,00 Stück	421 Wärmeerzeugungsanlagen		ODP	3,6274118600E-12	kg R11-Äqv.
2	Dachabdichtung [1840549]	1,00 m <sup>2</sup>	363 Dachbeläge		ODP	1,8929734195E-12	kg R11-Äqv.
3	Warmwasserspeicher [1840573]	1,00 Stück	421 Wärmeerzeugungsanlagen		ODP	3,6491573898E-13	kg R11-Äqv.
4	Aufzug [1840577]	1,00 Stück	461 Aufzugsanlagen		ODP	3,4989296065E-13	kg R11-Äqv.
5	Treppen [1840525]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		ODP	2,9605886825E-13	kg R11-Äqv.
6	Fernwärmeanschluss [1840572]	1,00 Stück	421 Wärmeerzeugungsanlagen		ODP	1,8352208864E-13	kg R11-Äqv.
7	Pufferspeicher Kühlung [1840574]	1,00 Stück	421 Wärmeerzeugungsanlagen		ODP	1,8245786949E-13	kg R11-Äqv.
8	Unterzug + Deckenplatten [1840520]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		ODP	5,6284375620E-14	kg R11-Äqv.
9	Treppenpodeste [1840524]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		ODP	5,3162986713E-14	kg R11-Äqv.
10	Photovoltaikanlage [1840576]	1,00 Stück	442 Eigenstromversorgungsanlagen		ODP	4,8790162259E-14	kg R11-Äqv.
11	Fundamente [1840266]	1,00 m <sup>2</sup>	322 Flachgründungen		ODP	4,4302488927E-14	kg R11-Äqv.
12	Außenwand StB [1747342]	1,00 m <sup>2</sup>	331 Tragende Außenwände		ODP	4,4302488927E-14	kg R11-Äqv.
13	Innenwände [1840487]	1,00 m <sup>2</sup>	341 Tragende Innenwände		ODP	4,4302488927E-14	kg R11-Äqv.
14	Lüftungsanlage 0 [1840566]	1,00 Stück	431 Lüftungsanlagen		ODP	2,6069567617E-14	kg R11-Äqv.
15	Lüftungsanlage 1 [1840567]	1,00 Stück	431 Lüftungsanlagen		ODP	2,6069567617E-14	kg R11-Äqv.
16	Innenstützen [1840485]	1,00 m <sup>2</sup>	343 Innenstützen		ODP	2,2513750248E-14	kg R11-Äqv.
17	Auffüllung C16/10 [1840428]	1,00 m <sup>2</sup>	324 Unterböden und Bodenplatten		ODP	7,9184735903E-15	kg R11-Äqv.
18	Sauberkeitsschicht C12/25 [1840427]	1,00 m <sup>2</sup>	324 Unterböden und Bodenplatten		ODP	7,9184735903E-15	kg R11-Äqv.



# NAWAREUM

## LCA - Ökologische Qualität -

#	Bauteilkomponente	Menge	Kostengruppe	Verbaut in Bauteil	Indikator	Gesamt / m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>	Einheit
19	Alu-Verkleidung PR-Fassade [1840475]	1,00 m <sup>2</sup>	334 Außentüren und -fenster		ODP	7,4377523104E-15	kg R11-Äqv.
20	Stahl [1840434]	1,00 Stück	324 Unterböden und Bodenplatten		ODP	7,3681202907E-15	kg R11-Äqv.
21	Vegetationssubstrat [1840561]	1,00 Stück	363 Dachbeläge		ODP	5,7193646462E-15	kg R11-Äqv.
22	Lüftungsanlage 2 [1840568]	1,00 Stück	431 Lüftungsanlagen		ODP	3,5438696804E-15	kg R11-Äqv.
23	Lüftungsanlage 3 [1840569]	1,00 Stück	431 Lüftungsanlagen		ODP	3,5438696804E-15	kg R11-Äqv.
24	Lüftungsanlage 4 [1840570]	1,00 Stück	431 Lüftungsanlagen		ODP	3,5438696804E-15	kg R11-Äqv.
25	Lüftungsanlage 5 [1840571]	1,00 Stück	431 Lüftungsanlagen		ODP	3,5438696804E-15	kg R11-Äqv.
26	Stahl [1840519]	1,00 Stück	341 Tragende Innenwände		ODP	3,1770741935E-15	kg R11-Äqv.
27	Stahl [1840521]	1,00 Stück	351 Deckenkonstruktionen		ODP	2,9996431022E-15	kg R11-Äqv.
28	FBH Rohre [1840564]	1,00 Stück	422 Wärmeverteilnetze		ODP	2,0393937904E-15	kg R11-Äqv.
29	Fliesen [1840494]	1,00 m <sup>2</sup>	345 Innenwandbekleidungen		ODP	1,8725653852E-15	kg R11-Äqv.
30	Auffüllung C12/25 [1840267]	1,00 m <sup>2</sup>	324 Unterböden und Bodenplatten		ODP	1,5836947181E-15	kg R11-Äqv.
31	Stahl [1840484]	1,00 Stück	339 Außenwände, sonstiges		ODP	1,1914029949E-15	kg R11-Äqv.
32	PR-Fassade Verglasung [1840477]	1,00 Stück	334 Außentüren und -fenster		ODP	8,8203234659E-16	kg R11-Äqv.
33	Solarthermie [1840563]	1,00 Stück	421 Wärmeerzeugungsanlagen		ODP	4,8839703451E-16	kg R11-Äqv.
34	FBH Rohre [1840565]	1,00 Stück	422 Wärmeverteilnetze		ODP	2,0263082077E-16	kg R11-Äqv.
35	Oberlicht [1840530]	1,00 Stück	362 Dachfenster, Dachöffnungen		ODP	1,1440114570E-16	kg R11-Äqv.
36	Profilstahl [1840523]	1,00 Stück	351 Deckenkonstruktionen		ODP	9,2258352163E-17	kg R11-Äqv.
37	Ausstellungskern 1 [1840500]	1,00 Stück	343 Innenstützen		ODP	7,0860725223E-17	kg R11-Äqv.



## NAWAREUM

LCA - Ökologische Qualität -

#	Bauteilkomponente	Menge	Kostengruppe	Verbaut in Bauteil	Indikator	Gesamt / m <sup>2</sup> <sub>NGFa</sub>	Einheit
38	Ausstellungskern 2 [1840511]	1,00 Stück	343 Innenstützen		ODP	6,5409900206E-17	kg R11-Äqv.
39	Estrich [1840547]	1,00 m <sup>2</sup>	352 Deckenbeläge		ODP	3,7827306432E-17	kg R11-Äqv.
40	Geothermiesonden [1845431]	1,00 Stück	421 Wärmeerzeugungsanlagen		ODP	2,4336735444E-17	kg R11-Äqv.
41	Fenster Typ 2 [1840472]	1,00 Stück	334 Außentüren und -fenster		ODP	1,7870750604E-17	kg R11-Äqv.
42	Treppen Holz [1840543]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		ODP	1,5262310048E-17	kg R11-Äqv.
43	Randstreifen [1840560]	1,00 Stück	363 Dachbeläge		ODP	1,4613249750E-17	kg R11-Äqv.
44	Unterzug 5 [1840541]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		ODP	1,3627062543E-17	kg R11-Äqv.
45	Fenster Typ 1 [1840470]	1,00 Stück	334 Außentüren und -fenster		ODP	1,2422090373E-17	kg R11-Äqv.
46	Holzstützen [1840453]	1,00 m <sup>2</sup>	333 Außenstützen		ODP	1,0266113005E-17	kg R11-Äqv.
47	Unterzug 3 [1840539]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		ODP	6,1049240193E-18	kg R11-Äqv.
48	Fenster Typ 4 [1840473]	1,00 Stück	334 Außentüren und -fenster		ODP	5,6226378943E-18	kg R11-Äqv.
49	Baumstützen Vordach [1840479]	1,00 Stück	333 Außenstützen		ODP	5,4912490077E-18	kg R11-Äqv.
50	Rähm, Rippenplatten [1840551]	1,00 m <sup>2</sup>	361 Dachkonstruktionen		ODP	4,3606600138E-18	kg R11-Äqv.
51	Rundstütze DM 32 [1840497]	1,00 Stück	343 Innenstützen		ODP	4,2307123453E-18	kg R11-Äqv.
52	Rundstütze DM 30 [1840498]	1,00 Stück	343 Innenstützen		ODP	3,9339149232E-18	kg R11-Äqv.
53	Unterzug 1 [1840538]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		ODP	3,9245940124E-18	kg R11-Äqv.
54	Parkett [1840544]	1,00 m <sup>2</sup>	352 Deckenbeläge		ODP	3,6351014334E-18	kg R11-Äqv.
55	Unterzug 2 [1840536]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		ODP	3,4885280110E-18	kg R11-Äqv.
56	Stütze [1840499]	1,00 Stück	343 Innenstützen		ODP	2,8257076889E-18	kg R11-Äqv.



# NAWAREUM

LCA - Ökologische Qualität -

#	Bauteilkomponente	Menge	Kostengruppe	Verbaut in Bauteil	Indikator	Gesamt / $m^2_{NGFa}$	Einheit
57	Brettstapeldecke [1840542]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		ODP	2,3983630076E-18	kg R11-Äqv.
58	Unterzug 4 [1840540]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		ODP	2,1803300069E-18	kg R11-Äqv.
59	BSH Wände + Ausstellungskern [1840513]	1,00 m <sup>2</sup>	341 Tragende Innenwände		ODP	1,3081980041E-18	kg R11-Äqv.
60	Dämmung AW-erdb. [1840438]	1,00 m <sup>2</sup>	331 Tragende Außenwände		ODP	1,2897623852E-18	kg R11-Äqv.
61	Dämmung Stirnseite Bodenplatte [1840432]	1,00 m <sup>2</sup>	324 Unterböden und Bodenplatten		ODP	1,2897623852E-18	kg R11-Äqv.
62	Mauerwerk Innenwand [1840492]	1,00 m <sup>2</sup>	342 Nichttragende Innenwände		ODP	1,1561636830E-18	kg R11-Äqv.
63	Dämmung Dach [1840556]	1,00 m <sup>2</sup>	363 Dachbeläge		ODP	1,0678019963E-18	kg R11-Äqv.
64	Mauerwerk Schacht [1840493]	1,00 m <sup>2</sup>	342 Nichttragende Innenwände		ODP	8,6712276227E-19	kg R11-Äqv.
65	Dämmung Außenwand [1840440]	1,00 m <sup>2</sup>	331 Tragende Außenwände		ODP	8,2145556063E-19	kg R11-Äqv.
66	Sparren [1840553]	1,00 m <sup>2</sup>	361 Dachkonstruktionen		ODP	7,1738833466E-19	kg R11-Äqv.
67	Vordach Sparren [1840481]	1,00 m <sup>2</sup>	361 Dachkonstruktionen		ODP	7,1738833466E-19	kg R11-Äqv.
68	Akustikdecke [1840545]	1,00 m <sup>2</sup>	353 Deckenbekleidungen		ODP	6,5409900206E-19	kg R11-Äqv.
69	Dämmung Bodenplatte [1840431]	1,00 m <sup>2</sup>	324 Unterböden und Bodenplatten		ODP	6,4488119260E-19	kg R11-Äqv.
70	Holzfaser Trennwände [1840518]	1,00 m <sup>2</sup>	345 Innenwandbekleidungen		ODP	2,9661166565E-19	kg R11-Äqv.
71	Schalung [1840554]	1,00 m <sup>2</sup>	363 Dachbeläge		ODP	2,8662949092E-19	kg R11-Äqv.
72	Holzverkleidung Außenwand [1840455]	1,00 m <sup>2</sup>	335 Außenwandbekleidungen, außen		ODP	2,5138403674E-19	kg R11-Äqv.
73	Vordach Dämmung [1840482]	1,00 m <sup>2</sup>	361 Dachkonstruktionen		ODP	2,3728933252E-19	kg R11-Äqv.
74	Bodenverbesserung [1828931]	1,00 m <sup>2</sup>	321 Baugrundverbesserung		ODP	2,1941816441E-19	kg R11-Äqv.
75	Trittschalldämmung [1840533]	1,00 m <sup>2</sup>	352 Deckenbeläge		ODP	1,1864466626E-19	kg R11-Äqv.





## NAWAREUM

LCA - Ökologische Qualität -

#	Bauteilkomponente	Menge	Kostengruppe	Verbaut in Bauteil	Indikator	Gesamt / $m^2_{NGF\ddot{a}}$	Einheit
76	Magerbeton [1840429]	1,00 m <sup>2</sup>	324 Unterböden und Bodenplatten		ODP	1,0350832250E-19	kg R11- Äqv.
77	MW Dämmung [1840517]	1,00 m <sup>2</sup>	345 Innenwandbekleidungen		ODP	8,2830754424E-20	kg R11- Äqv.
78	Hohlraumdämmung [1840534]	1,00 m <sup>2</sup>	352 Deckenbeläge		ODP	8,2830754424E-20	kg R11- Äqv.
79	Wärmedämmung FB [1840531]	1,00 m <sup>2</sup>	352 Deckenbeläge		ODP	5,9322333129E-20	kg R11- Äqv.
80	Vordach Rippenplattenelemente [1840480]	1,00 m <sup>2</sup>	361 Dachkonstruktionen		ODP	2,7036092085E-20	kg R11- Äqv.

eLCA Version 0.9.7

OBD\_2021\_II\_A1

Stand 27.06.2022

Bearbeiter Kathrin Theilig



## NAWAREUM

LCA - Ökologische Qualität -

#	Bauteilkomponente	Menge	Kostengruppe	Verbaut in Bauteil	Indikator	Gesamt / m <sup>2</sup> <sub>NGFA</sub>	Einheit
1	FBH Rohre [1840564]	1,00 Stück	422 Wärmeverteilnetze		POCP	3,4450730071E-4	kg Ethen-Äqv.
2	Stahl [1840434]	1,00 Stück	324 Unterböden und Bodenplatten		POCP	9,3989526262E-5	kg Ethen-Äqv.
3	FBH Rohre [1840565]	1,00 Stück	422 Wärmeverteilnetze		POCP	5,0411686454E-5	kg Ethen-Äqv.
4	Stahl [1840519]	1,00 Stück	341 Tragende Innenwände		POCP	4,0527527587E-5	kg Ethen-Äqv.
5	Stahl [1840521]	1,00 Stück	351 Deckenkonstruktionen		POCP	3,8264173631E-5	kg Ethen-Äqv.
6	PR-Fassade Verglasung [1840477]	1,00 Stück	334 Außentüren und -fenster		POCP	3,6674939161E-5	kg Ethen-Äqv.
7	Vegetationssubstrat [1840561]	1,00 Stück	363 Dachbeläge		POCP	1,6727321748E-5	kg Ethen-Äqv.
8	Aufzug [1840577]	1,00 Stück	461 Aufzugsanlagen		POCP	1,5519678929E-5	kg Ethen-Äqv.
9	Stahl [1840484]	1,00 Stück	339 Außenwände, sonstiges		POCP	1,5197825043E-5	kg Ethen-Äqv.
10	Warmwasserspeicher [1840573]	1,00 Stück	421 Wärmeerzeugungsanlagen		POCP	1,1388384497E-5	kg Ethen-Äqv.
11	Lüftungsanlage 0 [1840566]	1,00 Stück	431 Lüftungsanlagen		POCP	9,6166447639E-6	kg Ethen-Äqv.
12	Lüftungsanlage 1 [1840567]	1,00 Stück	431 Lüftungsanlagen		POCP	9,6166447639E-6	kg Ethen-Äqv.
13	Solarthermie [1840563]	1,00 Stück	421 Wärmeerzeugungsanlagen		POCP	8,8798814355E-6	kg Ethen-Äqv.
14	Pufferspeicher Kühlung [1840574]	1,00 Stück	421 Wärmeerzeugungsanlagen		POCP	5,6941922483E-6	kg Ethen-Äqv.
15	Wärmepumpe [1847130]	1,00 Stück	421 Wärmeerzeugungsanlagen		POCP	5,5945520653E-6	kg Ethen-Äqv.
16	Oberlicht [1840530]	1,00 Stück	362 Dachfenster, Dachöffnungen		POCP	4,2852451587E-6	kg Ethen-Äqv.
17	Photovoltaikanlage [1840576]	1,00 Stück	442 Eigenstromversorgungsanlagen		POCP	2,3422776721E-6	kg Ethen-Äqv.
18	Fernwärmeanschluss [1840572]	1,00 Stück	421 Wärmeerzeugungsanlagen		POCP	2,2930593851E-6	kg Ethen-Äqv.



# NAWAREUM

## LCA - Ökologische Qualität -

#	Bauteilkomponente	Menge	Kostengruppe	Verbaut in Bauteil	Indikator	Gesamt / m <sup>2</sup> <sub>NGFa</sub>	Einheit
19	Profilstahl [1840523]	1,00 Stück	351 Deckenkonstruktionen		POCP	1,9243258512E-6	kg Ethen-Äqv.
20	Ausstellungskern 1 [1840500]	1,00 Stück	343 Innenstützen		POCP	1,5810050798E-6	kg Ethen-Äqv.
21	Ausstellungskern 2 [1840511]	1,00 Stück	343 Innenstützen		POCP	1,4593893044E-6	kg Ethen-Äqv.
22	Lüftungsanlage 2 [1840568]	1,00 Stück	431 Lüftungsanlagen		POCP	1,1246497058E-6	kg Ethen-Äqv.
23	Lüftungsanlage 3 [1840569]	1,00 Stück	431 Lüftungsanlagen		POCP	1,1246497058E-6	kg Ethen-Äqv.
24	Lüftungsanlage 4 [1840570]	1,00 Stück	431 Lüftungsanlagen		POCP	1,1246497058E-6	kg Ethen-Äqv.
25	Lüftungsanlage 5 [1840571]	1,00 Stück	431 Lüftungsanlagen		POCP	1,1246497058E-6	kg Ethen-Äqv.
26	Fenster Typ 2 [1840472]	1,00 Stück	334 Außentüren und -fenster		POCP	5,8238773173E-7	kg Ethen-Äqv.
27	Geothermiesonden [1845431]	1,00 Stück	421 Wärmeerzeugungsanlagen		POCP	5,2078562307E-7	kg Ethen-Äqv.
28	Randstreifen [1840560]	1,00 Stück	363 Dachbeläge		POCP	4,9999276470E-7	kg Ethen-Äqv.
29	Fenster Typ 1 [1840470]	1,00 Stück	334 Außentüren und -fenster		POCP	3,8070263955E-7	kg Ethen-Äqv.
30	Treppen Holz [1840543]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		POCP	3,4052417103E-7	kg Ethen-Äqv.
31	Unterzug 5 [1840541]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		POCP	3,0403943842E-7	kg Ethen-Äqv.
32	Baumstützen Vordach [1840479]	1,00 Stück	333 Außenstützen		POCP	1,6295637109E-7	kg Ethen-Äqv.
33	Fenster Typ 4 [1840473]	1,00 Stück	334 Außentüren und -fenster		POCP	1,5838071254E-7	kg Ethen-Äqv.
34	Unterzug 3 [1840539]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		POCP	1,3620966841E-7	kg Ethen-Äqv.
35	Treppen [1840525]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		POCP	1,3274608316E-7	kg Ethen-Äqv.
36	Holzstützen [1840453]	1,00 m <sup>2</sup>	333 Außenstützen		POCP	1,0717800994E-7	kg Ethen-Äqv.
37	Rähm, Rippenplatten [1840551]	1,00 m <sup>2</sup>	361 Dachkonstruktionen		POCP	9,7292620293E-8	kg Ethen-Äqv.



## NAWAREUM

LCA - Ökologische Qualität -

#	Bauteilkomponente	Menge	Kostengruppe	Verbaut in Bauteil	Indikator	Gesamt / m <sup>2</sup> <sub>NGFa</sub>	Einheit
38	Rundstütze DM 32 [1840497]	1,00 Stück	343 Innenstützen		POCP	9,4393300208E-8	kg Ethen-Äqv.
39	Rundstütze DM 30 [1840498]	1,00 Stück	343 Innenstützen		POCP	8,7771321240E-8	kg Ethen-Äqv.
40	Unterzug 1 [1840538]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		POCP	8,7563358264E-8	kg Ethen-Äqv.
41	Unterzug 2 [1840536]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		POCP	7,7834096235E-8	kg Ethen-Äqv.
42	Stütze [1840499]	1,00 Stück	343 Innenstützen		POCP	6,3045617950E-8	kg Ethen-Äqv.
43	Dämmung Stirnseite Bodenplatte [1840432]	1,00 m <sup>2</sup>	324 Unterböden und Bodenplatten		POCP	5,9909415100E-8	kg Ethen-Äqv.
44	Dämmung AW-erdb. [1840438]	1,00 m <sup>2</sup>	331 Tragende Außenwände		POCP	5,9909415100E-8	kg Ethen-Äqv.
45	Dämmung Dach [1840556]	1,00 m <sup>2</sup>	363 Dachbeläge		POCP	5,4269200511E-8	kg Ethen-Äqv.
46	Brettstapeldecke [1840542]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		POCP	5,3510941161E-8	kg Ethen-Äqv.
47	Unterzug 4 [1840540]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		POCP	4,8646310147E-8	kg Ethen-Äqv.
48	Alu-Verkleidung PR-Fassade [1840475]	1,00 m <sup>2</sup>	334 Außentüren und -fenster		POCP	3,9100101673E-8	kg Ethen-Äqv.
49	Dämmung Außenwand [1840440]	1,00 m <sup>2</sup>	331 Tragende Außenwände		POCP	3,6246417948E-8	kg Ethen-Äqv.
50	Dämmung Bodenplatte [1840431]	1,00 m <sup>2</sup>	324 Unterböden und Bodenplatten		POCP	2,9954707550E-8	kg Ethen-Äqv.
51	BSH Wände + Ausstellungskern [1840513]	1,00 m <sup>2</sup>	341 Tragende Innenwände		POCP	2,9187786088E-8	kg Ethen-Äqv.
52	Unterzug + Deckenplatten [1840520]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		POCP	2,5429695247E-8	kg Ethen-Äqv.
53	Treppenpodeste [1840524]	1,00 m <sup>2</sup>	351 Deckenkonstruktionen		POCP	2,3772724268E-8	kg Ethen-Äqv.
54	Sparren [1840553]	1,00 m <sup>2</sup>	361 Dachkonstruktionen		POCP	2,1288963497E-8	kg Ethen-Äqv.
55	Vordach Sparren [1840481]	1,00 m <sup>2</sup>	361 Dachkonstruktionen		POCP	2,1288963497E-8	kg Ethen-Äqv.
56	Fundamente [1840266]	1,00 m <sup>2</sup>	322 Flachgründungen		POCP	1,9810603557E-8	kg Ethen-Äqv.



## NAWAREUM

LCA - Ökologische Qualität -

#	Bauteilkomponente	Menge	Kostengruppe	Verbaut in Bauteil	Indikator	Gesamt / m <sup>2</sup> <sub>NGFa</sub>	Einheit
57	Außenwand StB [1747342]	1,00 m <sup>2</sup>	331 Tragende Außenwände		POCP	1,9810603557E-8	kg Ethen-Äqv.
58	Innenwände [1840487]	1,00 m <sup>2</sup>	341 Tragende Innenwände		POCP	1,9810603557E-8	kg Ethen-Äqv.
59	Parkett [1840544]	1,00 m <sup>2</sup>	352 Deckenbeläge		POCP	1,8102870885E-8	kg Ethen-Äqv.
60	Holzfaser Trennwände [1840518]	1,00 m <sup>2</sup>	345 Innenwandbekleidungen		POCP	1,5074777920E-8	kg Ethen-Äqv.
61	Akustikdecke [1840545]	1,00 m <sup>2</sup>	353 Deckenbekleidungen		POCP	1,4593893044E-8	kg Ethen-Äqv.
62	Dachabdichtung [1840549]	1,00 m <sup>2</sup>	363 Dachbeläge		POCP	1,3540401180E-8	kg Ethen-Äqv.
63	Holzverkleidung Außenwand [1840455]	1,00 m <sup>2</sup>	335 Außenwandbekleidungen, außen		POCP	1,3533221453E-8	kg Ethen-Äqv.
64	Schalung [1840554]	1,00 m <sup>2</sup>	363 Dachbeläge		POCP	1,3384041542E-8	kg Ethen-Äqv.
65	Estrich [1840547]	1,00 m <sup>2</sup>	352 Deckenbeläge		POCP	1,3220117451E-8	kg Ethen-Äqv.
66	Vordach Dämmung [1840482]	1,00 m <sup>2</sup>	361 Dachkonstruktionen		POCP	1,2059822336E-8	kg Ethen-Äqv.
67	Innenstützen [1840485]	1,00 m <sup>2</sup>	343 Innenstützen		POCP	1,0171878099E-8	kg Ethen-Äqv.
68	Bodenverbesserung [1828931]	1,00 m <sup>2</sup>	321 Baugrundverbesserung		POCP	7,5073988694E-9	kg Ethen-Äqv.
69	Fliesen [1840494]	1,00 m <sup>2</sup>	345 Innenwandbekleidungen		POCP	7,1226575672E-9	kg Ethen-Äqv.
70	Trittschalldämmung [1840533]	1,00 m <sup>2</sup>	352 Deckenbeläge		POCP	6,0299111679E-9	kg Ethen-Äqv.
71	Auffüllung C16/10 [1840428]	1,00 m <sup>2</sup>	324 Unterböden und Bodenplatten		POCP	3,5489522047E-9	kg Ethen-Äqv.
72	Sauberkeitsschicht C12/25 [1840427]	1,00 m <sup>2</sup>	324 Unterböden und Bodenplatten		POCP	3,5489522047E-9	kg Ethen-Äqv.
73	Wärmedämmung FB [1840531]	1,00 m <sup>2</sup>	352 Deckenbeläge		POCP	3,0149555840E-9	kg Ethen-Äqv.
74	Magerbeton [1840429]	1,00 m <sup>2</sup>	324 Unterböden und Bodenplatten		POCP	2,4916137046E-9	kg Ethen-Äqv.
75	Hohlraumdämmung [1840534]	1,00 m <sup>2</sup>	352 Deckenbeläge		POCP	1,3392316235E-9	kg Ethen-Äqv.



## NAWAREUM

LCA - Ökologische Qualität -

#	Bauteilkomponente	Menge	Kostengruppe	Verbaut in Bauteil	Indikator	Gesamt / $m^2_{NGFa}$	Einheit
76	MW Dämmung [1840517]	1,00 m <sup>2</sup>	345 Innenwandbekleidungen		POCP	1,3392316235E-9	kg Ethen-Äqv.
77	Auffüllung C12/25 [1840267]	1,00 m <sup>2</sup>	324 Unterböden und Bodenplatten		POCP	7,0979044093E-10	kg Ethen-Äqv.
78	Vordach Rippenplattenelemente [1840480]	1,00 m <sup>2</sup>	361 Dachkonstruktionen		POCP	6,0321424582E-10	kg Ethen-Äqv.
79	Mauerwerk Schacht [1840493]	1,00 m <sup>2</sup>	342 Nichttragende Innenwände		POCP	-8,4732464766E-9	kg Ethen-Äqv.
80	Mauerwerk Innenwand [1840492]	1,00 m <sup>2</sup>	342 Nichttragende Innenwände		POCP	-1,1297661969E-8	kg Ethen-Äqv.

eLCA Version 0.9.7	OBD_2021_II_A1	Stand 27.06.2022	Bearbeiter Kathrin Theilig
--------------------	----------------	------------------	----------------------------