

Dokumentation der Darmstädter Arbeitsgruppe

Graue Energie und graue Emissionen im Gebäudelebenszyklus

Projekt: **s:ne - Systeminnovation für nachhaltige Entwicklung**
Transfer als Lernprozess in der Region,
Teilvorhaben Institut Wohnen und Umwelt GmbH,
FKZ: 03IHS036D

Autorin: Britta Stein, Institut Wohnen und Umwelt GmbH
Projektteam: Britta Stein, Institut Wohnen und Umwelt GmbH
Iris Behr, Hochschule Darmstadt
Dr. Michèle Bernhard, ehemals Schader-Stiftung
Désirée Nothnagel, Schader-Stiftung
Luise Spieker, Schader-Stiftung

Darmstadt, 20.12.2022

Gefördert durch:



Titel: Dokumentation der Darmstädter Arbeitsgruppe
Graue Energie und graue Emissionen im Gebäudelebenszyklus

Autorin: Britta Stein, Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Projektteam: Britta Stein, Institut Wohnen und Umwelt GmbH
Iris Behr, Hochschule Darmstadt
Dr. Michèle Bernhard, ehemals Schader-Stiftung
Désirée Nothnagel, Schader-Stiftung
Luise Spieker, Schader-Stiftung



Danksagung: Das Projektteam dankt den Teilnehmenden der Arbeitsgruppe für den engagierten und interessanten Austausch.

Darmstadt, 20.12.2022

(mit redaktionellen Korrekturen der Bildunterschriften zu den Abbildungen 6 und 8 bis 13 vom 20.01.2023)

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung, und Forschung sowie dem Land Hessen im Rahmen der Bund-Länder-Initiative „Innovative Hochschule“ unter dem Förderkennzeichen 03IHS036D gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin.

Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU)

Rheinstraße 65

64295 Darmstadt

Telefon: +49(0)6151/2904-0

Internet: www.iwu.de

Kurzfassung

Im Rahmen des über die Bund-Länder-Initiative „Innovative Hochschule“ durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung und die Gemeinsame Wissenschaftskonferenz geförderten Projektes „Systeminnovation für Nachhaltige Entwicklung“ – kurz s:ne – wurde von der Hochschule Darmstadt, der Schader-Stiftung und der Institut Wohnen und Umwelt GmbH in Darmstadt die Arbeitsgruppe (AG) „Graue Energie und graue Emissionen im Gebäudelebenszyklus“ initiiert, deren Inhalte in diesem Bericht dokumentiert sind.

Im Zeitraum zwischen September 2021 und Oktober 2022 wurden fünf AG-Treffen abgehalten, an denen neben dem s:ne-Team Vertreterinnen und Vertreter der Darmstädter Stadtverwaltung, der Stadtwirtschaft und der Zivilgesellschaft teilnahmen. In einer Mischung aus Vorträgen des IWU, Praxisbeiträgen aus dem Kreis der Teilnehmenden und gemeinsamer Diskussion wurden Grundlagen, Vorgaben und Regelungen sowie Ansatzpunkte zur Reduktion grauer Energie und grauer Emissionen behandelt. Darüber hinaus wurden Ansätze für Konzepte mit ausgeglichener Bilanz im Lebenszyklus sowie die Bewertung von Rückbau, Entsorgung und Nachnutzung betrachtet.

In der letzten Sitzung der Arbeitsgruppe wurden ausgewählte **Kernaussagen** der vorhergehenden Treffen besprochen, kommentiert und Formulierungsvorschläge diskutiert. Folgende Aussagen wurden festgehalten:

1. **Durch die projekt- bzw. maßnahmenspezifische Betrachtung grauer Energie und grauer Emissionen können Potenziale zur Optimierung des Energieeinsatzes und der daraus resultierenden Emissionen im Gebäudelebenszyklus erschlossen werden.** Auch wenn energetische Modernisierungen ökobilanziell in der Regel positiv zu bewerten sind, gilt dies nicht nur für Neubauten, Anbauten, Ausbauten und Umbauten, sondern auch bei Maßnahmen im Bestand.
2. **Im Hinblick auf die Umsetzung von Lebenszyklusbetrachtungen im Gebäudebereich nehmen die öffentliche Hand und die professionelle Immobilienwirtschaft eine wichtige Vorreiterrolle ein.** Private Eigentümerinnen und Eigentümer profitieren von guten Beispielen im Sinne von Musterprojekten und Musterkonzepten sowie daraus resultierenden Erfahrungswerten und „Best Practices“.
3. **Die weitere Etablierung der Vernetzung innerhalb des Stadtkonzerns** unter der Hinzuziehung von weiteren fachkundigen Personen wird als erstrebenswert erachtet.
4. Es werden **passgenaue Informationsangebote für alle Eigentumsarten** (selbstgenutzt, vermietet, privat, institutionell) ebenso wie zur **Vermittlung entsprechender Inhalte in die Politik** benötigt. Dies gilt vor allem für niederschwellige Informationsgrundlagen und Hilfestellungen für Personen ohne vertiefte Fachkenntnisse.
5. Bei extern Beauftragten sind Fachkenntnisse zu Lebenszyklusthemen in sehr unterschiedlichem Maße vorhanden. Wichtig ist deshalb, dass die für Entscheidungen verantwortlichen Personen **die richtigen Fragen stellen**, um alle an der Planung und Umsetzung von Maßnahmen Beteiligten entsprechend zu sensibilisieren.
6. **Relevant sind erste Abschätzungen in den frühen Planungsphasen.** Da die Bilanzierung des Einsatzes der verbauten Materialmengen jedoch gerade in frühen Planungsphasen eine Herausforderung darstellt, **werden hierfür weitere Hilfsmittel, Benchmarks u. Ä. benötigt.**
7. Auch für die genauere Betrachtung wäre es hilfreich, **sich auf ein gemeinsames Verständnis bezüglich der Anwendung von Rechenkonventionen in Darmstadt zu einigen.**
8. Die Kompensation der durch den Bau und den Betrieb von Gebäuden verursachten Treibhausgasemissionen durch Zertifikate spielt bisher so gut wie keine Rolle und wird zudem auch überwiegend kritisch eingeschätzt. **In jedem Fall sollten Emissionen so weit wie möglich vermieden** und (Ausgleichs-)Projekte vor Ort durchgeführt werden.

Inhalt

Kurzfassung	I
Inhalt.....	III
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einleitung.....	1
1.1 Anlass, Ausgangslage und Hintergrund	1
1.2 Teilnehmende und Ablauf	1
2 Grundlagen	3
2.1 Gebäudelebenszyklusphasen	3
2.2 Ökobilanzierungen und Umweltproduktdeklarationen als Grundlagen für die quantitative Bewertung	4
2.3 Relevanz grauer Energie und grauer Emissionen im Gebäudebereich	5
2.4 Diskussion	7
3 Kommunale, nationale und europäische Vorgaben und Regelungen zu grauer Energie und grauen Emissionen	8
3.1 Beschlüsse der Stadt Darmstadt.....	8
3.2 Exkurs: Bezüge zu den Nachhaltigkeitszielen der Vereinten Nationen	9
3.3 Vorgaben und Regelungen auf europäischer Ebene	11
3.4 Vorgaben und Regelungen des Bundes.....	12
3.5 Beispiele von Vorgaben und Regelungen aus Ländern und Kommunen	13
3.6 Diskussion	14
4 Ansatzpunkte zur Reduktion von grauer Energie und grauen Emissionen	16
4.1 Revitalisierung oder Neubau	16
4.2 Berücksichtigung grauer Energie und grauer Emissionen in Planungswettbewerben.....	17
4.3 Berücksichtigung grauer Energie und grauer Emissionen in Planungskonzepten.....	17
4.4 Korrelation zwischen der Materialität des Tragwerks und den Treibhausgasemissionen des Bauwerks	19
4.5 Treibhausgasemissionen der Herstellung nach Bauteilen.....	20
4.6 Hot Spot-Analyse	21
4.7 Einordnung der Einflussmöglichkeiten im zeitlichen Verlauf von Planungs- und Bauprozessen	22
4.8 Praxisbeitrag Darmstädter Stadtentwicklungs GmbH & Co. KG (DSE) zu Planungsentscheidungen.....	24
4.9 Diskussion	25
5 Ansätze für Gebäudekonzepte mit ausgeglichener Emissionsbilanz im Lebenszyklus	28
5.1 (Netto-)Null-Emissionen und (Netto-)Treibhausgasneutralität.....	28

5.2	Möglichkeiten für den Ausgleich bzw. die Kompensation nicht vermeidbarer Treibhausgasemissionen	28
5.3	Definitionsansätze für Gebäude mit ausgeglichener Emissionsbilanz im Lebenszyklus	31
5.4	Diskussion	34
6	Rückbau, Entsorgung und Nachnutzung von Baumaterialien.....	36
6.1	Bewertung der Nettoflüsse aus Wiederverwendung, Recycling, Energierückgewinnung und anderen Verwertungsverfahren	36
6.2	Statistische Angaben zu Aufkommen und Verwertung von Bau- und Abbruchabfällen.....	40
6.3	Diskussion	41
7	Kernaussagen.....	43
8	Quellen- Abbildungs- und Tabellenverzeichnisse	44
8.1	Quellenverzeichnis.....	44
8.2	Abbildungsverzeichnis	48
8.3	Tabellenverzeichnis	49

Abkürzungsverzeichnis

AG	Arbeitsgruppe
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude
BGFa	Brutto-Grundfläche
BMWSB	Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen
BNB	Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen
BNK	Bewertungssystem nachhaltiger Kleinwohnhausbau
CDR	Carbon Dioxide Removal – Methoden zur Entnahme von CO ₂
CO ₂	Kohlenstoffdioxid, auch Kohlendioxid genannt
CO ₂ -Äq. / CO _{2e}	CO ₂ -Äquivalente (Erläuterungen siehe Abschnitt 2.2)
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
DSE	Darmstädter Stadtentwicklungs GmbH & Co. KG
EnEV	Energieeinsparverordnung
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive - EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden
EPD	Environmental Product Declaration – Umweltproduktdeklaration
FSC	internationales Zertifizierungssystem des Forest Stewardship Council für nachhaltigere Waldwirtschaft
GEG	Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz)
GWP	Global Warming Potential – Globales Erwärmungspotenzial, auch als (globales) Treibhauspotential bezeichnet (Erläuterungen siehe Abschnitt 2.2, Fußnote 3)
h_da	Hochschule Darmstadt
HmbKliSchG	Hamburgisches Gesetz zum Schutz des Klimas (Hamburgisches Klimaschutzgesetz)
IDA	Eigenbetrieb Immobilienmanagement der Wissenschaftsstadt Darmstadt
IWU	Institut Wohnen und Umwelt GmbH
KG	Kostengruppe
KSG	Bundes-Klimaschutzgesetz
NaWoh	Qualitätssiegel Nachhaltiger Wohnungsbau
NET	Negativemissionstechnologie
NRF	Netto-Raumfläche
PEFC	internationales Waldzertifizierungssystem des Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes
PHPP	Passivhaus-Projektierungspaket
QNG	Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude
SDG	Sustainable Development Goal – Ziel einer nachhaltigen Entwicklung der Vereinten Nationen
s:ne	Projekt Systeminnovation für Nachhaltige Entwicklung

1 Einleitung

Im Rahmen des über die Bund-Länder-Initiative „Innovative Hochschule“ durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung und die Gemeinsame Wissenschaftskonferenz geförderten Projektes „Systeminnovation für Nachhaltige Entwicklung“ – kurz s:ne – wurde von der Hochschule Darmstadt, der Schader-Stiftung und der Institut Wohnen und Umwelt GmbH in Darmstadt die Arbeitsgruppe „Graue Energie und graue Emissionen im Gebäudelebenszyklus“ initiiert, deren Inhalte nachfolgend dokumentiert sind.

1.1 Anlass, Ausgangslage und Hintergrund

Das Projekt s:ne hatte zum Ziel, nachhaltige Entwicklungsprozesse im regionalen Umfeld der Stadt Darmstadt zu stärken. In mehreren Umsetzungsvorhaben wurde ein wechselseitiger Austausch zwischen Hochschule, Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Zivilgesellschaft angestrebt. Dabei sollten unterschiedliche Erfahrungen, Perspektiven und Interessen zusammengebracht werden, um aus dem gebündelten Wissen positive Veränderungsprozesse in Richtung nachhaltiger Entwicklung abzuleiten. Zu diesem Zweck sollten im Hinblick auf einen Ausgangs-Impuls auf der Basis eines gemeinsamen entwickelten Problemverständnisses zunächst Transferfragen formuliert sowie anschließend gemeinschaftlich Lösungsoptionen entwickelt und idealerweise erprobt und umgesetzt werden.

Als Teil des s:ne-Umsetzungsvorhabens „Zukunftsorientierte Stadtentwicklung“ wurde u. a. das Handlungsfeld „Klimaschutzpotenziale im Gebäudebestand erschließen“ näher betrachtet. Anlass hierzu bot der Beschluss SV 2019/0053 der Darmstädter Stadtverordnetenversammlung „Höchste Priorität für Klimaschutz – Weltklima in Not – Darmstadt handelt“, nach dem die Wissenschaftsstadt Darmstadt das Ziel verfolgt, *„da wo der Magistrat Handlungsoptionen und Einfluss hat, bis 2035 ihre Netto-CO₂-Emissionen auf null zu senken“* (S. 1).

Vor diesem Hintergrund wurden unter der Überschrift „Weltklima lokal – Darmstadt handelt“ von April 2020 bis März 2021 in fünf Workshops Herausforderungen der energetischen Gebäudemodernisierung mit Vertreterinnen und Vertretern der Stadt Darmstadt, der Darmstädter Stadtwirtschaft, der Zivilgesellschaft sowie dem s:ne-Team diskutiert und hierzu ein gemeinsames Problemverständnis entwickelt. Anschließend wurden aus den 16 in diesem Zusammenhang abgeleiteten Transferfragen zwei Themenbereiche ausgewählt und in unterschiedlichen Arbeitsgruppen (AGs) weiter vertieft. Neben der in diesem Bericht dokumentierten AG „Graue Energie und graue Emissionen im Gebäudelebenszyklus“ wurde in einer zweiten Arbeitsgruppe ein „Kompass“ für die Kommunikation zwischen Vermietenden und Mietenden bei größeren Modernisierungsvorhaben erarbeitet.

Ausgangspunkt für die im vorliegenden Bericht zusammengetragenen Inhalte der AG „Graue Energie und graue Emissionen im Gebäudelebenszyklus“ waren die Transferfragen:

- Welche Rolle spielen graue Energie und graue Emissionen vor dem Hintergrund des Beschlusses der Stadtverordnetenversammlung („Höchste Priorität für Klimaschutz“)?
- Wie kann es gelingen, graue Energie/graue Emissionen im gesamten Planungsablauf zu berücksichtigen?

1.2 Teilnehmende und Ablauf

Im Zeitraum zwischen September 2021 und Oktober 2022 wurden fünf AG-Treffen abgehalten (siehe Tabelle 1).

Der Kreis der Teilnehmenden setzte sich zusammen aus Vertreterinnen und Vertretern

- des Amtes für Klimaschutz und Klimaanpassung der Wissenschaftsstadt Darmstadt,
- der bauverein AG,
- der Darmstädter Stadtentwicklungs GmbH & Co. KG (DSE),
- des Eigenbetriebs Immobilienmanagement der Wissenschaftsstadt Darmstadt (IDA),
- der ENTEGA AG,
- von Haus & Grund Darmstadt e. V.,
- der HEAG Holding AG – Beteiligungsmanagement der Wissenschaftsstadt Darmstadt (HEAG) (Teilnahme an einem Termin).

Das s:ne-Projektteam war vertreten durch Teammitglieder

- der Hochschule Darmstadt (h_da),
- der Schader Stiftung,
- der Institut-Wohnen und Umwelt GmbH (IWU) und
- der e-hoch-3 eco impact experts GmbH & Co. KG (Teilnahme an einem Termin).

Tabelle 1: Übersicht über die Sitzungstermine, inhaltliche Schwerpunkte und (Impuls-)Beiträge

Sitzungstermin	Sitzungsschwerpunkt	Impuls- bzw. Praxisbeiträge von
20.09.2021	Einführung ins Thema (Grundlagen) und bisherige Praxiserfahrungen	IWU und IDA
31.01.2022	Lebenszyklusbetrachtungen in Regelungen der EU sowie von Bund, Ländern und Kommunen; Beschlüsse der Stadtverordnetenversammlung in Darmstadt sowie Kurzvorstellung des Amtes für Klimaschutz und Klimaanpassung	IWU, h_da, Amt für Klimaschutz und Klimaanpassung
06.04.2022	Zielkonflikte und „Hot Spots“ bei der Betrachtung grauer Energie und grauer Emissionen im Lebenszyklus	DSE und IWU
08.06.2022	Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen; Ansätze für Gebäude mit ausgeglichener Emissionsbilanz im Lebenszyklus	h_da und IWU
12.10.2022	Abschluss; Gemeinsame Einigung auf Kernaussagen	-

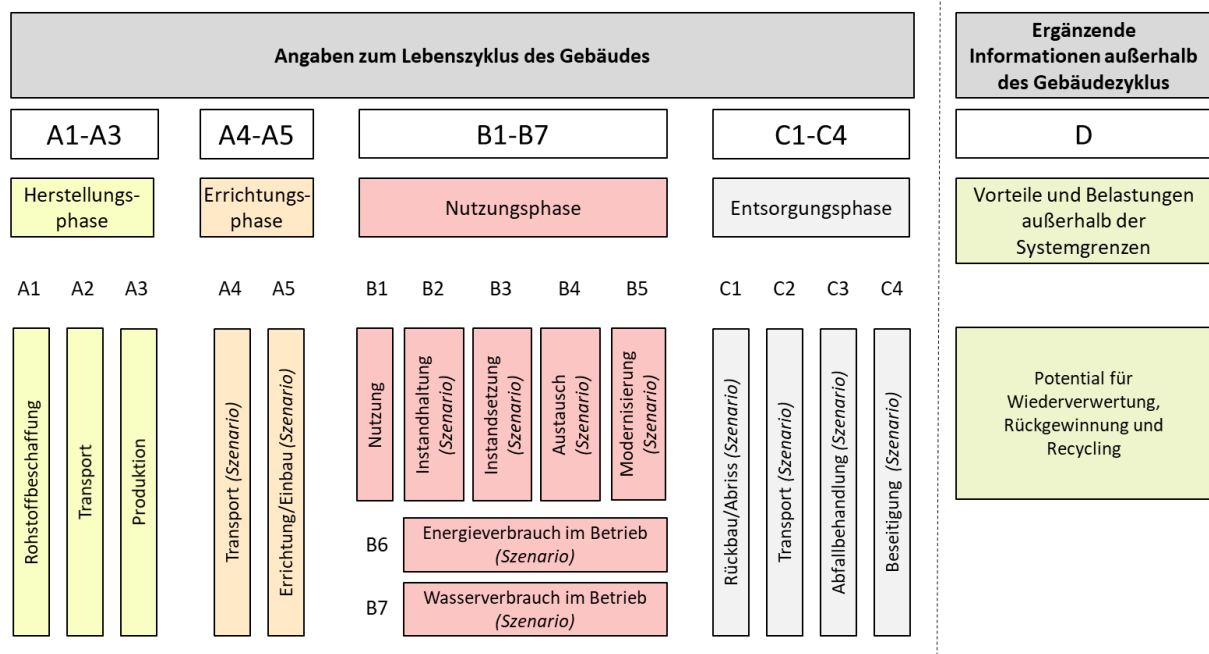
In dieser Dokumentation dargestellt und näher erläutert sind die Inhalte der im Rahmen der AG-Treffen vorgestellten Impuls-, Praxis- und Diskussionsbeiträge. Diese sind dabei nicht protokollarisch oder chronologisch, sondern thematisch zusammengestellt und im Hinblick auf den Gesamtzusammenhang interpretiert. Die Wiedergabe stimmt daher nicht unbedingt immer präzise mit den Aussagen und Intentionen der Wortbeiträge überein. Hingewiesen sei in diesem Zusammenhang darauf, dass sich vor allem im Laufe des Jahres 2022 einige Randbedingungen wie beispielweise Energiepreise, Baukosten und Materialverfügbarkeiten, aber auch die Erfahrungswerte einzelner Teilnehmender verändert haben und die hier wiedergegebenen Diskussionsbeiträge immer nur eine Momentaufnahme darstellen.

2 Grundlagen

Während bei der energetischen Bewertung und Optimierung von Gebäuden der Fokus bisher auf dem Primärenergieeinsatz in der Nutzungs- und Betriebsphase lag, erfolgt derzeit ein Übergang zur Betrachtung des vollständigen Gebäudelebenszyklus unter stärkerer Berücksichtigung der Treibhausgasemissionen. Dabei wird der Blick auf die Herstellung, Errichtung, Instandhaltung, Erweiterung, Erneuerung und Entsorgung bzw. Wiederverwertung der eingesetzten Produkte, Materialien und Bauteile erweitert.

2.1 Gebäudelebenszyklusphasen

Abbildung 1 zeigt die Gebäudelebenszyklusphasen nach DIN EN 15978:2012-10 „Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode“.¹



Als „Szenario“ wird in DIN EN 15978:2012-10 (S. 11) „eine Sammlung von Annahmen und Informationen zu einer erwarteten Abfolge möglicher zukünftiger Ereignisse“ bezeichnet.

Abbildung 1: Gebäudelebenszyklusphasen (eigene Darstellung nach DIN EN 15978:2012-10, S. 21)

Als **graue Energie und graue Emissionen** werden die **gebäudebedingten Anteile** der Ressourceninanspruchnahme und Umweltwirkungen bezeichnet, die bei der Herstellung der Bauprodukte (Module A1-A3), der Errichtung des Gebäudes (Module A4-A5), der Instandhaltung, der Modernisierung und dem Ersatz von Bauteilen (Module B2-B5) sowie der Entsorgung (Module C1-C4) anfallen.

Zu den **nutzungs- bzw. betriebsbezogenen (roten) Anteilen** zählen die Nutzung (Modul B1), der Energieeinsatz im Betrieb (Modul B6) und der Wassereinsatz im Betrieb (Modul B7).

Angaben zu Vorteilen und Belastungen außerhalb der Systemgrenzen (Modul D) können als Zusatzinformation ausgewiesen werden.

¹ Ein weitgehend übereinstimmendes Schema ist jeweils auch in DIN EN 15643 „Nachhaltigkeit von Bauwerken – Allgemeine Rahmenbedingungen zur Bewertung von Gebäuden und Ingenieurbauwerken“ sowie in DIN EN 15804 „Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte“ enthalten.

2.2 Ökobilanzierungen und Umweltproduktdeklarationen als Grundlagen für die quantitative Bewertung

Bereits seit einiger Zeit werden Lebenszyklusbetrachtungen in Nachhaltigkeitsbewertungssystemen eingesetzt. Dabei enthalten alle in Deutschland eingesetzten Nachhaltigkeitsbewertungssysteme, die auf dem am Runden Tisch Nachhaltiges Bauen entwickelten Nachhaltigkeitsverständnis basieren,² Anforderungen an die Ermittlung und Bewertung des Einsatzes von nicht erneuerbaren Primärenergie-ressourcen und daraus resultierenden Treibhausgasemissionen³ im Lebenszyklus von Gebäuden (vgl. Lützkendorf 2021, S. 14). Auch das europäische Berichtsrahmenwerk Level(s) beinhaltet einen Indikator für Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus (vgl. Dodd et al. 2021b; Erläuterungen hierzu siehe Abschnitt 3.3).

Grundlage für die quantitative Erfassung dieser Kenngrößen bildet die Methodik der **Ökobilanzierung**, d. h. die Mengen der verbauten Materialien, Bauteile und Anlagen werden mit Ökobilanzdaten aus hierfür geeigneten Quellen verknüpft und bewertet (vgl. Lützkendorf 2021, S. 16). Die normative Basis bilden die internationalen Normen DIN EN ISO 14040 – Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen und DIN EN ISO 14044 – Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen. Darauf aufbauend werden detaillierte methodische Vorgehensweisen im Rahmen des jeweiligen Nachhaltigkeitsbewertungssystems vorgegeben (z. B. BMI 2017a, BMI 2017b, BMI 2021, DGNB 2018, DGNB 2021, Dodd et al. 2021b).

Mit der Plattform ÖKOBAUDAT stellt das Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) eine vereinheitlichte Datenbasis für die Ökobilanzierung von Bauwerken kostenfrei zur Verfügung (www.oekobaudat.de). Neben generischen Datensätzen, die auf Basis allgemein zugänglicher Statistiken und anderer Literaturquellen berechnet wurden, und Daten, die für ein Land oder eine Region repräsentativ sind, enthält die Datenbank auch firmen- oder verbandsspezifische Datensätze aus Umweltproduktdeklarationen (vgl. Figl/Kusche 2020, S. 11). Umweltproduktdeklarationen (englisch: Environmental Product Declarations, kurz EPDs) enthalten neben einer detaillierten Produktbeschreibung die Ergebnisse der Ökobilanz des betrachteten Produkts und beinhalten Indikatoren zur Beschreibung der Umweltauswirkungen, des Ressourceneinsatzes, der Abfallkategorien und Outflows sowie zusätzlicher Wirkungskategorien.

² Hierzu zählen das im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) eingesetzte Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG), das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB, verbindlich für Bundesgebäude, z. T. auch freiwillig von Bundesländern und Kommunen verwendet), das Qualitätssiegel Nachhaltiger Wohnungsbau (NaWoh), das Bewertungssystem Nachhaltiger Kleinwohnungsbau (BNK) sowie das von der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) entwickelte Zertifizierungssystem.

³ Kenngröße für die Treibhausgasemissionen ist das so genannte **Treibhauspotenzial** (auch als Erderwärmungspotenzial bzw. im Englischen als Global Warming Potential bezeichnet, kurz GWP). Die einzelnen Treibhausgase sind unterschiedlich klimawirksam und weisen verschieden lange Verweilzeiten in der Atmosphäre auf. Um ihre Klimawirkung zusammenzufassen, wird ihre mittlere Erwärmungswirkung über einen bestimmten Zeitraum (in der Regel 100 Jahre) betrachtet. Die Wirkung von Kohlendioxid auf das Klima wird dabei als Vergleichsgröße angenommen und hat daher einen Wert von 1. Das spezifische Treibhauspotenzial gibt an, wie viel eine bestimmte Masse eines Treibhausgases im Vergleich zur gleichen Masse CO₂ zur globalen Erwärmung beiträgt. Als Einheit für den Vergleich von Treibhausgasen dienen insofern die so genannten CO₂-Äquivalente, kurz CO₂-Äq. oder CO_{2e} (vgl. IPCC 2018, S. 544, S. 546).

2.3 Relevanz grauer Energie und grauer Emissionen im Gebäudebereich

Die Relevanz grauer Energie und grauer Emissionen im Gebäudebereich wurde in der ersten AG-Sitzungen anhand der Ergebnisse dreier Studien veranschaulicht.

2.3.1 Umweltfußabdruck von Gebäuden in Deutschland 2014

In einer 2020 vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) herausgegebenen Studie wurde aufgezeigt, dass im Jahr 2014 durch die Herstellung, Errichtung, Modernisierung, Nutzung und den Betrieb von Wohn- und Nichtwohngebäuden 362 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente in Deutschland sowie 35 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente durch Zulieferer im Ausland verursacht wurden (vgl. Ramseier/Frischknecht 2020, S. 1-2, 14, 25-26).⁴ **Das Handlungsfeld „Errichtung und Nutzung von Hochbauten“ trug damit in diesem Jahr zu 40 % der Treibhausgasemissionen in Deutschland (902 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente; vgl. ebd., S. 17) bei** (siehe Abbildung 2). 33 % der nationalen Emissionen (297 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente) wurden auf die Nutzung und den Betrieb der Wohn- und Nichtwohngebäude zurückgeführt,⁵ 7 % der nationalen Treibhausgasemissionen (65 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente) auf die vorgelagerten Lieferketten der Herstellung, Errichtung und Modernisierung der Wohn- und Nichtwohngebäuden und die direkten Emissionen der Bauwirtschaft (Anteil Hochbau).

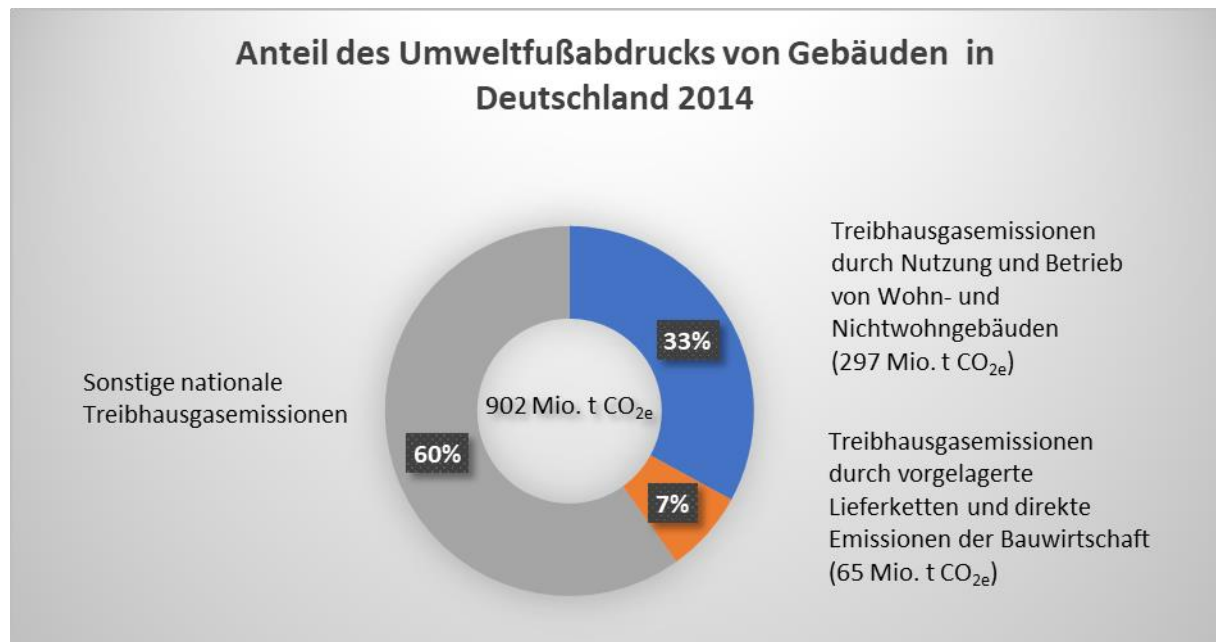


Abbildung 2: Anteil des Umweltfußabdrucks von Gebäuden in Deutschland 2014 (eigene Darstellung auf Basis der Daten aus Ramseier/Frischknecht 2020, S. 16)

Bei Berücksichtigung der zusätzlich im Ausland verursachten Emissionen betrug der Treibhausgasfußabdruck des Handlungsfelds „Errichtung und Nutzung von Hochbauten“ insgesamt 398 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente, wovon 75 % durch Nutzung und Betrieb der Wohn- und Nichtwohngebäude und **25 % durch die vorgelagerten Lieferketten der Herstellung, Errichtung und Modernisierung der Wohn- und Nichtwohngebäude sowie die direkten Emissionen der Bauwirtschaft (Anteil Hochbau)** verursacht wurden (siehe Abbildung 3).

⁴ Der Rückbau von Wohn- und Nichtwohngebäuden sowie Entsorgung und Recycling der Baustoffe sind in diesen Angaben nicht enthalten.

⁵ Darin enthalten sind die direkten Treibhausgasemissionen, die z. B. bei der Verbrennung von Brennstoffen für die Raumwärme emittiert werden, und die Treibhausgasemissionen, die bei der Herstellung der Brennstoffe und des Stroms entstehen (vgl. ebd., S. 14).

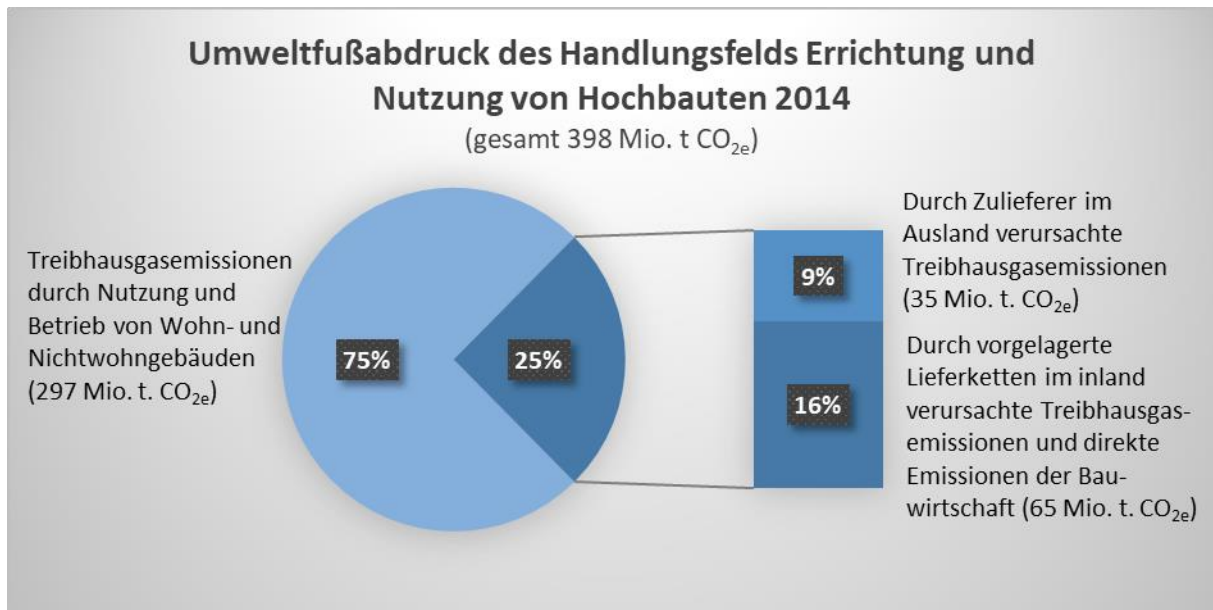


Abbildung 3: Umweltfußabdruck des Handlungsfelds Errichtung und Nutzung von Hochbauten 2014 (eigene Darstellung auf Basis der Daten aus Ramseier/Frischknecht 2020, S. 1, S. 14)

2.3.2 Energieaufwand für verschiedene Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus

Die Betrachtung grauer Energie und grauen Emissionen rückt derzeit auch deshalb stärker in den Fokus, da die Befürchtung besteht, dass deren Anteil mit zunehmend ambitionierteren Gebäudeenergiestandards unverhältnismäßig stark ansteigt. Vor diesem Hintergrund wurden von Mahler et al. (2019) im Auftrag des Umweltbundesamtes Untersuchungen des Energieaufwands für verschiedene Gebäudekonzepte durchgeführt. Unter anderem wurden im Rahmen von Ökobilanzen die Wirkungsindikatoren Treibhauspotenzial und kumulierter Energieaufwand nicht erneuerbar ermittelt. Für die vergleichende Bewertung im Lebenszyklus wurde für alle untersuchten Variantenkombinationen der Energiebedarf der Gebäude nach Energieeinsparverordnung (EnEV) zuzüglich der dezentralen Stromerzeugung und eines Ansatzes für Nutzerstrom bilanziert. Zudem wurde eine Eigenstromnutzung zur anteiligen Deckung des Nutzerstrombedarfs angesetzt (vgl. Mahler et al. 2019, S. 29). Betrachtet wurden die Module A1-A3 (Herstellung), B3 (Instandsetzung) sowie C3-C4 und D (End of Life) der DIN EN 15978 (vgl. ebd., S. 171; Beschreibung der Module siehe Abschnitt 2.1) für einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren (vgl. ebd., S. 175). Berechnet wurden 80 Neubauvarianten in konventioneller Massivbauweise und in Holzbauweise sowie je 60 Sanierungsvarianten für zwei verschiedene Mehrfamilienhäuser (vgl. ebd., S. 24-25, S. 105).

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass steigende Anforderungen an den Gebäudeenergiestandard bei der Gesamtbetrachtung im Lebenszyklus zwar tendenziell zu Treibhausgaseinsparungen führen, es jedoch innerhalb eines Gebäudeenergiestandards für verschiedene Ausführungsvarianten große Unterschiede in der Umweltwirkung gibt **und somit die Vorgabe eines Gebäudeenergiestandards allein kein Garant für niedrige Lebenszykluskennwerte ist** (vgl. ebd., S. 105-106). Zudem ist für die betrachteten Gebäudeenergiestandards **durch Bestandssanierungen mit häufig umgesetzten Maßnahmenkombinationen („üblichen Varianten“)** im Vergleich zum Neubau ein durchgängig niedrigeres lebenszyklusbezogenes Treibhauspotenzial erreichbar (vgl. ebd.).

Darüber hinaus weisen den Erkenntnissen der Studie zur Folge **Sanierungskonzepte im Mehrfamilienhausbereich im Schnitt ein niedrigeres flächenbezogenes Treibhauspotenzial auf als Sanierungskonzepte für Einfamilienhäuser** (vgl. ebd., S. 108). Ähnliche, wenn auch teilweise etwas weniger deutliche, Aussagen lassen sich ebenfalls im Hinblick auf die über den Lebenszyklus kumulierte nicht erneuerbare Primärenergie ableiten (vgl. ebd., S. 163-164).

2.3.3 Ökologische Bewertung energetischer Sanierungsoptionen

In der Studie „Ökologische Bewertung energetischer Sanierungsoptionen“ (Dunkelberg/Weiß 2016) wurden einzelne Maßnahmen an der Gebäudehülle (Dämmung der Außenwand, Innenwanddämmung, Dämmputz, Dämmung des Dachs, der obersten Geschossdecke und der Kellerdecke, neue Fenster) sowie unterschiedliche Heizsysteme und Maßnahmenkombinationen ökobilanziell betrachtet. Soweit es die Datenverfügbarkeit erlaubte, wurden dabei sämtliche Module der DIN EN 15804: A1-A3 (Herstellung), A4-A5 (Errichtung), B1-B7 (Nutzung), C1-C4 (End of Life) und D (Rückgewinnung/Nachnutzung) (Beschreibung der Module siehe Abschnitt 2.1) für einen Betrachtungszeitraum von 40 Jahren berücksichtigt (vgl. ebd., S. 3).

Den Ergebnissen der Studie zur Folge sind die grauen Emissionen von Heizungssystemen im Vergleich zur Nutzungsphase vernachlässigbar und die Treibhausgas-Amortisationszeiten von Dämmmaßnahmen – d. h. der Zeitraum, nach welchem sich die Emissionen aus Herstellung, Transport und End of Life durch die infolge des geringeren Endenergiebedarfs reduzierten Emissionen während der Nutzung amortisiert haben – mit wenigen Monaten bzw. Jahren kurz (vgl. ebd., S. 47). **Demnach spielen „graue Energie“ und „graue Emissionen“ der Dämmung bei der energetischen Sanierung zwar nur eine untergeordnete Rolle, dennoch ermöglichen die Ergebnisse der Ökobilanzierung Schlussfolgerungen für die Auswahl des Dämmstoffes aus ökologischer Perspektive** (vgl. ebd., S. III-IV, S. 47). Bei neueren Gebäuden mit gutem Wärmeschutz hingegen amortisieren sich zusätzliche Dämmungen aus Klimaschutzperspektive erst nach mehreren Jahren. Neue Fenster amortisieren sich ebenfalls – auch bei älteren Gebäuden – erst nach einem Zeitraum von bis zu zehn Jahren. Insgesamt lassen sich im Vergleich der in der Studie berücksichtigten Sanierungsmaßnahmen die höchsten Energieeinsparungen und Emissionsvermeidungen durch eine Fassadendämmung erreichen (vgl. ebd., S. III).

2.4 Diskussion

Allgemein bestand bei den AG-Teilnehmenden Einigkeit darüber, **dass vor allem Strategien für den Gebäudebestand benötigt werden**, wobei neben der technischen Umsetzbarkeit auch die soziale Komponente (vor allem in Form von Bezahlbarkeit) zu berücksichtigen ist. Damit in Zusammenhang stehende Spannungsfelder müssten identifiziert und geklärt werden. Dabei wurde es für unwahrscheinlich erachtet, dass die Klimaziele allein über freiwillige Maßnahmen erreicht werden können.

Hervorgehoben wurde die Bedeutung der heutigen Betrachtung des Gebäudesektors vor dem Hintergrund der derzeit noch nicht weitgehend dekarbonisierten Energieversorgung. In diesem Zusammenhang wurde darauf hingewiesen, dass die Dekarbonisierung des Energiesystems eine große Herausforderung darstellt. Es ist davon auszugehen, dass insbesondere für den zu erwartenden zusätzlichen Strombedarf für Wärme und (E-)Mobilität ein großer Zubau erforderlich ist. Der Wärmebedarf des Gebäudebereichs bleibt für die Dekarbonisierung der Energieversorgung deshalb auch künftig relevant.

Im Hinblick auf den **Lebenszyklus von Heizwärmesystemen** wurde erklärt, dass der (unreflektierte) Betrieb von Heizsystemen über ihre technische Lebensdauer hinaus dazu führen könne, dass bei Ausfall des Heizsystems in der Notsituation die vorhandene Anlage einfach weiterhin durch fossil betriebene Technologien ersetzt wird ohne Alternativen zu prüfen. Über die Betrachtung von Vermeidungskosten könnten Erfolgserlebnisse und Effekte sichtbar gemacht werden.

Andererseits wurde an anderer Stelle die Frage in den Raum gestellt, inwiefern es sinnvoll sein kann, (fossil betriebene) Systeme zu entsorgen, die noch funktionsfähig sind und ihr technisches Lebensende noch nicht erreicht haben.

Zudem wurde darauf hingewiesen, dass im Jahr 2022 Versorgungsthemen sehr in den Vordergrund gerückt sind, jedoch Klimaschutz und Ressourcenschutz nicht gegeneinander ausgespielt werden sollten.

3 Kommunale, nationale und europäische Vorgaben und Regelungen zu grauer Energie und grauen Emissionen

In der zweiten AG-Sitzung näher betrachtet wurden Regelungen und Vorgaben zu grauer Energie und grauen Emissionen. Neben den Beschlüssen der Stadt Darmstadt wurden dabei Regelungen und Vorgaben der EU, des Bundes sowie exemplarische Beispiele aus Ländern und Kommunen erörtert.

3.1 Beschlüsse der Stadt Darmstadt

Als Ausgangspunkt für den fachlichen Austausch im Rahmen der AG diente der Beschluss der Darmstädter Stadtverordnetenversammlung **„Höchste Priorität für Klimaschutz – Weltklima in Not – Darmstadt handelt“** (Beschluss SV 2019/0053 zur Zustimmung des Änderungs-Antrags SV 2019/0043). In diesem ist festgelegt, dass die Wissenschaftsstadt Darmstadt das Ziel verfolgt, *„da wo der Magistrat Handlungsoptionen und Einfluss hat, bis 2035 ihre Netto-CO₂-Emissionen auf null zu senken“* (S. 1). Zudem wird bei neuen Baugebieten (Gewerbe- wie Wohngebieten) *„möglichst das Ziel der CO₂-Neutralität vorgegeben (mindestens bilanziell)“* (S. 2).

In der Zwischenzeit wurden weitere klimarelevante Magistratsvorlagen zur Kenntnis genommen oder beschlossen. Hierzu zählen u. a. der Beschluss zum KlimaEntscheid sowie zur Klimaschutzstrategie der Stadt Darmstadt (MV 2020/0235) und der Beschluss zu Prüfungen der Auswirkungen von Magistratsvorlagen auf das Stadtklima und/oder die CO₂-Bilanz – Klimavorbehalt (MV 2020/0252).

In dem **Beschluss „Prüfung der Zulässigkeit des Bürgerbegehrens KlimaEntscheid Darmstadt und inhaltliche Auseinandersetzung, Klimaschutzstrategie der Wissenschaftsstadt Darmstadt“** (MV 2020/0235) werden u. a. die Themen der Lebenszyklusanalyse und des Materialeinsatzes bei städtischen Bauvorhaben behandelt. Zwar wurde das Bürgerbegehren bei der rechtlichen Prüfung als unzulässig bewertet, dennoch wurde zu den aufgeführten Positionen Stellung bezogen. Folgende Punkte betreffen dabei (im weiteren Sinne) auch die graue Energie bzw. die grauen Emissionen von Gebäuden:

- Im Einflussbereich der Wissenschaftsstadt Darmstadt wird die Forderung übernommen, den Einsatz von klimaneutralen und nachwachsenden Baustoffen (zum Beispiel Holz oder Lehm) zu priorisieren und mit geeigneten Mitteln zu fördern (vgl. ebd., S. 16, Ziel 7, Forderung II). Erläuternd wird in der Beschlussvorlage dargestellt, dass der Einsatz von klimaneutralen und nachwachsenden Rohstoffen bei städtischen Bauprojekten oder Bauvorhaben der städtischen Beteiligungen in jedem Einzelfall geprüft wird und der Einsatz klimafreundlicher Baustoffe in Zukunft weiter priorisiert sowie im Rahmen der Erstellung des neuen Klimaschutzkonzeptes evaluiert und weiterbearbeitet wird (vgl. ebd., S. 17).
- Die Forderung, bei Bauanträgen von Bauvorhaben mit mehr als 500 qm Brutto-Grundfläche ein Energiekonzept und eine Lebenszyklusanalyse bei der zuständigen Behörde vorlegen zu müssen, wird geprüft und, wo möglich, im Einflussbereich der Wissenschaftsstadt Darmstadt übernommen (vgl. ebd., S. 17, Ziel 7, Forderung V). Gemäß den Erläuterungen in der Beschlussvorlage werden Energiekonzepte und Lebenszyklusanalysen bereits heute bei allen größeren städtischen Neubauten erstellt und angewendet. Zudem wird geprüft, ob bei städtebaulichen Verträgen und Grundstücksverkäufen derartige Forderungen zukünftig gestellt werden (vgl. ebd., S. 17, S. 24).
- Die Forderung, vermehrt Städtebau- und Hochbauwettbewerbe mit entsprechenden ökologischen Kriterien auszuloben, wird laut Beschlussvorlage bereits umgesetzt (vgl. ebd., S. 17, Ziel 7, Forderung VII).

Der Beschluss „Prüfungen zu Auswirkungen von Magistratsvorlagen auf das Stadtklima und/oder die CO₂-Bilanz – Klimavorbehalt“ (MV 2020/0252, S. 4) sieht eine zweistufige Bewertung der Magistratsvorlagen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf Stadtklima und/oder die CO₂-Bilanz vor. In einer Vorprüfung soll ermittelt werden, ob eine Klimarelevanz vorliegt. Ist dies der Fall, wird die Menge der zusätzlich verursachten oder eingesparten Treibhausgasemissionen überschlägig ermittelt. Für Vorhaben mit relevanten negativen Auswirkungen sind Alternativen zu erarbeiten und zu benennen. Von einer relevanten negativen Auswirkung ist ab zusätzlichen Emissionen in Höhe von >10 t bis 500 t pro Jahr auszugehen, wobei auch die graue Energie für Herstellung, Transport und Entsorgung zu berücksichtigen ist. Für entsprechende Fälle muss überprüft werden, ob es Lösungen mit geringeren Auswirkungen gibt (Optimierung, Vermeidung). Ab erwarteten Emissionen größer 500 t müssen die Emissionen soweit wie möglich konkret berechnet und Alternativen erarbeitet und/oder Kompensationsmaßnahmen entwickelt und zur Beschlussfassung vorgelegt werden. Auf die gleiche Art wird bei Magistratsvorlagen mit positiver Wirkung auf die CO₂-Bilanz (z. B. Einsparungen, CO₂-Senken) verfahren (vgl. ebd.).

Als weitere Beschlüsse mit Bezug zu Klimathemen, die allerdings für das Themenfeld rund um die graue Energie nicht unmittelbar relevant sind, wurden genannt:

- das Sofortprogramm Klimaschutz (MV 2020/0194),
- der Beschluss MV 2020/0197 zum Abschlussbericht der Energie- und CO₂-Bilanz (Bezugsjahr 1990) sowie Evaluation des integrierten Klimaschutzkonzept von 2013 der Wissenschaftsstadt Darmstadt,
- die Leistungsbeschreibung der Neufassung des integrierten Klimaschutzkonzeptes (MV 2020/0200).

3.2 Exkurs: Bezüge zu den Nachhaltigkeitszielen der Vereinten Nationen

In dem Beschluss der Darmstädter Stadtverordnetenversammlung „Höchste Priorität für Klimaschutz – Weltklima in Not – Darmstadt handelt“ (Beschluss SV 2019/0053, siehe Abschnitt 3.1) wird u. a. darauf Bezug genommen, dass die Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen auch für deutsche Städte einen Handlungsrahmen darstellen. Von den Vereinten Nationen wurden im Jahr 2015 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung (im Englischen als Sustainable Development Goals, kurz SDGs, bezeichnet) mit 169 Zielvorgaben festgelegt, die bis 2030 erreicht werden sollen (vgl. Vereinte Nationen 2015).

Mit dem dreizehnten Nachhaltigkeitsziel „Maßnahmen zum Klimaschutz“ hat sich die Weltgemeinschaft verpflichtet, umgehend Maßnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels und seiner Auswirkungen zu ergreifen (vgl. ebd., S. 24). Gleichzeitig wird mit Ziel 11 der Kontext einer nachhaltigen Entwicklung von Städten und Gemeinden in den Blick genommen (vgl. ebd., S. 23-24). Im Zusammenhang mit grauer Energie und grauen Emissionen ergeben sich vor allem Bezüge zu Ziel 12 „Nachhaltige/r Konsum und Produktion“ (vgl. ebd., S. 24), zu den Themen Energie (Ziel 7), Wirtschaftswachstum (Ziel 8) sowie Industrie, Innovation und Infrastruktur (Ziel 9) (vgl. ebd., S. 20-22). Im Hinblick auf den Themenkomplex graue Energie und graue Emissionen relevante Ziele und Zielvorgaben sind in Tabelle 2 dargestellt, wobei sich auch zu weiteren Nachhaltigkeitszielsetzungen Bezüge ergeben können.

Tabelle 2: Im Zusammenhang mit der Betrachtung grauer Energie und grauer Emissionen relevante Nachhaltigkeitsziele und Unterziele (Bildquelle: Vereinte Nationen o. D.; Textquelle: Vereinte Nationen 2015)

Icon, Nummer und Kurztitel	Langfassung der Bezeichnung	Zielvorgaben
	Zugang zu bezahlbarer, verlässlicher, nachhaltiger und moderner Energie für alle sichern	7.2 Bis 2030 den Anteil erneuerbarer Energie am globalen Energiemix deutlich erhöhen 7.3 Bis 2030 die weltweite Steigerungsrate der Energieeffizienz verdoppeln
	Dauerhaftes, inklusives und nachhaltiges Wirtschaftswachstum, produktive Vollbeschäftigung und menschenwürdige Arbeit für alle fördern	8.4 Bis 2030 die weltweite Ressourceneffizienz in Konsum und Produktion Schritt für Schritt verbessern und die Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Umweltzerstörung anstreben, im Einklang mit dem Zehnjahres-Programmrahmen für nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster, wobei die entwickelten Länder die Führung übernehmen
	Eine widerstandsfähige Infrastruktur aufbauen, inklusive und nachhaltige Industrialisierung fördern und Innovationen unterstützen	9.4 Bis 2030 die Infrastruktur modernisieren und die Industrien nachrüsten, um sie nachhaltig zu machen, mit effizienterem Ressourceneinsatz und unter vermehrter Nutzung sauberer und umweltverträglicher Technologien und Industrieprozesse, wobei alle Länder Maßnahmen entsprechend ihren jeweiligen Kapazitäten ergreifen
	Städte und Siedlungen inklusiv, sicher, widerstandsfähig und nachhaltig gestalten	11.6 Bis 2030 die von den Städten ausgehende Umweltbelastung pro Kopf senken, unter anderem mit besonderer Aufmerksamkeit auf der Luftqualität und der kommunalen und sonstigen Abfallbehandlung
	Nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster sicherstellen	12.2 Bis 2030 die nachhaltige Bewirtschaftung und effiziente Nutzung der natürlichen Ressourcen erreichen 12.5 Bis 2030 das Abfallaufkommen durch Vermeidung, Verminderung, Wiederverwertung und Wiederverwendung deutlich verringern 12.7 In der öffentlichen Beschaffung nachhaltige Verfahren fördern, im Einklang mit den nationalen Politiken und Prioritäten 12.8 Bis 2030 sicherstellen, dass die Menschen überall über einschlägige Informationen und das Bewusstsein für nachhaltige Entwicklung und eine Lebensweise in Harmonie mit der Natur verfügen
	Umgehend Maßnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels und seiner Auswirkungen ergreifen	13.1 Die Widerstandskraft und die Anpassungsfähigkeit gegenüber klimabedingten Gefahren und Naturkatastrophen in allen Ländern stärken

3.3 Vorgaben und Regelungen auf europäischer Ebene

Mitte Dezember 2021 wurde von der EU-Kommission ein **Vorschlag für die Neufassung der europäischen Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden** veröffentlicht (englisch: Energy Performance of Buildings Directive, kurz **EPBD**) (COM(2021) 802 final). Im Rahmen der im Vorfeld durchgeführten öffentlichen Konsultation sprachen sich 68 % der Befragten für die Aufnahme von Angaben zu den Treibhausgasemissionen während des gesamten Lebenszyklus in die Neufassung der EPBD aus (vgl. ebd., S. 9).

Zwar liegt der Schwerpunkt des Vorschlags weiterhin auf der Verringerung der Treibhausgasemissionen in der Betriebsphase, es werden – wie die Kommission es selber ausdrückt – nun jedoch erste Schritte unternommen, um die Emissionen über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes zu berücksichtigen (vgl. ebd., S. 14). Erläuternd wird ausgeführt, dass die Vision für einen dekarbonisierten Gebäudebestand über die betriebsbedingten Treibhausgasemissionen hinausgeht und Gestaltungsoptionen sowohl beim Neubau als auch bei der Modernisierung einen großen Einfluss auf die Lebenszyklusemissionen haben (vgl. ebd., S. 23). Deshalb ist vorgesehen, dass die EU-Mitgliedsstaaten bei der Erstellung so genannter „nationaler Gebäuderenovierungspläne“ unter anderem ein Überblick zu durchgeführten und geplanten Regelwerken, Strategien und Maßnahmen zur Verringerung der Treibhausgasemissionen über den gesamten Lebenszyklus von Gebäuden (Bau, Sanierung, Betrieb, Ende der Lebensdauer) abgeben (vgl. ebd., S. 24 sowie Anhang II).

Auch in die neuen Vorlagen für Energieausweise werden Angaben zu Lebenszyklusbetrachtungen mit aufgenommen (vgl. ebd., Anhang V). Zunächst sind diese Angaben optional. Allerdings soll die Berechnung und Offenlegung des über den Lebenszyklus anfallenden Treibhauspotenzials für Neubauten mit einer Nutzfläche von mehr als 2.000 Quadratmetern ab 2027, für alle Neubauten ab 2030 verpflichtend vorgegeben werden (vgl. ebd., Artikel 7 Abs. 2).

Das Treibhaus- oder auch Erderwärmungspotenzial über den gesamten Lebenszyklus (englisch: global warming potential – kurz GWP) gibt den Gesamtbeitrag eines Gebäudes zu den Emissionen an, die zum Klimawandel beitragen (siehe hierzu Fußnote 3). Es fasst die in den Bauprodukten enthaltenen Treibhausgasemissionen mit den direkten und indirekten Emissionen aus der Nutzungsphase zusammen. Die Vorgabe, das Treibhauspotenzial neuer Gebäude über den gesamten Lebenszyklus zu berechnen, wird als erster Schritt in Richtung Kreislaufwirtschaft angesehen (vgl. ebd., S. 24).

Hierzu sind in Anhang III des Vorschlags zur Neufassung Regelungen zur Berechnung des Treibhauspotenzials im Lebenszyklus enthalten. Die Angabe erfolgt in kg CO_{2e} pro m² Nutzfläche, gemittelt für ein Jahr eines Betrachtungszeitraums von 50 Jahren. Berechnungsgrundlage bildet die EN 15978 „Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode“. Bezüglich des Umfangs der zu betrachtenden Gebäudekomponenten und der technischen Ausstattung sowie der Anforderungen an die Berechnungsinstrumente wird auf die Definition des Indikators 1.2 des EU Rahmenwerks Level(s) verwiesen.

Das **EU-Rahmenwerk Level(s)** ist ein freiwillig anwendbarer Bewertungs- und Berichtsrahmen, der eine Art „gemeinsame Sprache“ zur Erfassung der Nachhaltigkeitsqualitäten von Gebäuden darstellen soll (vgl. European Commission 2021, S. 1). Hierfür wurden standardisierte Metriken zur Erfassung und Messung von Gebäudequalitäten und Leistungsindikatoren entlang des Lebenszyklus entwickelt. Darüber soll die Vergleichbarkeit der erfassten Daten verschiedener Gebäude länderübergreifend erleichtert werden (vgl. ebd.). Der Fokus liegt dabei auf den im Rahmen der Berichterstattung anzuwendenden Methoden. Anders als bei Nachhaltigkeitszertifikaten gibt es für die definierten Indikatoren keine zu erfüllenden Grenzwerte.

Das Berichtssystem umfasst sechs auf die Themen Umwelt, Soziales und Wirtschaftlichkeit bezogene Makroziele mit insgesamt 16 zugehörigen Indikatoren (vgl. Dodd et al. 2021a, S. 2). Der Indikator mit der Nummer 1.2 bezieht sich auf das Treibhauspotential im Lebenszyklus. Für diesen Indikator werden

drei Betrachtungsebenen (Levels) und damit unterschiedliche Detaillierungsgrade unterschieden (vgl. Dodd et al. 2021b, S. 10-15):

- Der Schwerpunkt der ersten Betrachtungsebene liegt auf der Konzepterstellung. Sie richtet sich an diejenigen, die nicht beabsichtigen, das Treibhauspotenzial ihres Bauprojekts über den gesamten Lebenszyklus zu berechnen. Stattdessen werden Anleitungen zur Integration einiger wichtiger Lebenszyklusaspekte in Planungskonzepte und Ausführungsplanung (siehe Abschnitt 4.3) gegeben sowie zur Auswertung und Nutzung von Ergebnissen bereits durchgeführter Lebenszyklusanalysen und Ökobilanzen sowie von Lebenszyklusbetrachtungen, die auf der Analyse ähnlicher Gebäudetypen beruhen.
- Die zweite Betrachtungsebene ist für diejenigen gedacht, die das Treibhauspotenzial ihres Bauprojekts über den gesamten Lebenszyklus berechnen wollen. Sie enthält Anleitungen zur Verwendung der Level(s)-Gebäudebeschreibung (d. h. des Bilanzrahmens von Level(s)), zur Auswahl von Softwaretools und Datenbanken, zu den Grundzügen der Berechnung und den Berechnungsschritten der Norm EN 15978, zu Informationen und Annahmen, die über die EN-Norm hinausgehen, einschließlich von Standardparametern zum Füllen von Datenlücken sowie zur Auswertung und Verwendung der Ergebnisse einer „Hot Spot“- bzw. Brennpunkt-Analyse. Die Anleitungen und die Methodik können auch verwendet werden, um einen Schritt weiter zu gehen und eine Ökobilanz mit weiteren Wirkungskategorien wie z. B. Versauerung, Eutrophierung etc. „von der Wiege bis zur Bahre“ durchzuführen.
- Die dritte Betrachtungsebene beinhaltet die Validierung der in Stufe 2 durchgeführten Berechnungen auf Basis der tatsächlich verwendeten Materialien und Produkte.

3.4 Vorgaben und Regelungen des Bundes

Nicht nur auf EU-Ebene, auch auf Bundesebene spielen Lebenszyklusbetrachtungen zunehmend eine Rolle. Ein Beispiel hierfür ist die verpflichtende Anwendung des **Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen – BNB** für Gebäude des Bundes. Dabei wird der gesamte Lebenszyklus unter Berücksichtigung der ökologischen, ökonomischen, soziokulturellen Qualität sowie technischen Aspekten und Prozessen betrachtet (vgl. BMI 2019; S. 24). Auch in einigen Bundesländern und Kommunen, z. B. in Berlin, wird das System für öffentliche Gebäude verwendet (vgl. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen 2022). Im Rahmen des BNBs werden insgesamt 47 Kriterien bewertet, unter anderem auch Treibhauspotenzial und Primärenergie im Lebenszyklus (vgl. BMI 2019; S. 140). Anders als bei dem EU-Berichtsrahmenwerk Level(s) (siehe Abschnitt 3.3) sind beim BNB vorgegebene Mindest- und Zielwerte einzuhalten und es erfolgt eine Eingruppierung in die Klassen Bronze, Silber oder Gold (vgl. ebd., S. 24). Allerdings ergibt sich bisher aus den Anforderungen des BNB alleine nicht automatisch eine bilanzielle Null (Definitionen hierzu siehe Abschnitt 4), dies muss als Zielsetzung gesondert formuliert werden.

Auch kann seit Ende April 2022 die **Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)** im Neubau nur noch für den Effizienzstandard 40 mit **Nachhaltigkeitsklasse (NH-Klasse)** in Anspruch genommen werden. Der hierfür erforderliche Nachweis erfolgt über die Vergabe des Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude (QNG) durch eine akkreditierte Zertifizierungsstelle. Ähnlich wie das BNB beinhalten die Anforderungen des Gütesiegels QNG u. a. Höchstwerte für die Treibhausgasemissionen und den nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf im Lebenszyklus (vgl. BMWSB 2022a, S. 2; BMWSB 2022a, S. 7).

Zudem benennt die Bundesregierung in ihrem **Koalitionsvertrag** das Ziel, im Gebäudebereich zu einer Kreislaufwirtschaft zu kommen (vgl. SPD/Bündnis90/Die Grünen/FDP 2021, S. 90). Vor diesem Hintergrund sollen die Grundlagen geschaffen werden, um den Einsatz grauer Energie verstärkt betrachten zu können. Hierfür soll u. a. ein digitaler Ressourcenpass eingeführt werden.

Ein webbasierter **Materialpass** wird beispielsweise bereits von der Madaster Foundation angeboten. Darin werden die Mengen aller verbauten Materialien und Produkte eines Gebäudes oder Gebäudeabschnitts innerhalb einer bestimmten Bilanzgrenze (Grundstück und Mobiliar können mit betrachtet werden) dokumentiert (vgl. Madaster 2021a, S. 15, S. 19), und es werden Übersichten auf der Grundlage der gebräuchlichen Kostengruppen nach DIN 276 dargestellt, die nach sieben „Materialfamilien“ (mineralisch, Glas, Holz, Kunststoff, organisch, Metall, unbekannt) oder nach der Kategorisierung der DIN 279 klassifiziert werden können (vgl. Madaster 2021b, S. 4; Madaster 2021a, S. 5). In der Konzeptphase befindet sich zudem ein Zirkularitätsindikator, für dessen Herleitung ein Gebäude in drei Lebensphasen bewertet wird (vgl. Madaster 2021a, S. 26; Madaster 2021b, S. 21): Rohstoffherkunft im Bauprozess, Lebensdauer während der Nutzungsphase und Materialverwertung am Ende der Nutzungsphase.

3.5 Beispiele von Vorgaben und Regelungen aus Ländern und Kommunen

Regelungen zu Lebenszyklusbetrachtungen finden sich weiterhin auch auf Landes- und kommunaler Ebene. Nicht immer geht es dabei nur um Bilanzierungen, sondern teilweise auch um weitere Vorgaben bei der Auswahl der Baustoffe für öffentliche Gebäude:

- Beispielsweise strebt der Senat der Freien und Hansestadt **Hamburg** gemäß dem Hamburgischen Klimaschutzgesetz (HmBKliSchG) an, „*bei neu zu errichtenden Gebäuden klimafreundliches und nachhaltiges Bauen zu fördern, um so den Energieeinsatz beziehungsweise die Kohlendioxidemissionen bei der Herstellung der Baustoffe möglichst weitgehend zu reduzieren.*“ (§ 14 HmBKliSchG) Konkrete Maßnahmen sollen im Hamburger Klimaplan vorgesehen werden. Entsprechend dieser Zielsetzung ist die Möglichkeit, Holz für die Baukonstruktion und tragenden Bauteile zu verwenden, bei allen städtischen Bauvorhaben zu prüfen (vgl. § 22 HmBKliSchG, Nr. 1). Zudem wird auf Landesebene die Anwendung des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen (BNB, siehe Abschnitt 3.4) als Regelfall angestrebt (vgl. ebd., Nr. 2).
- Ein weiteres Beispiel ist das vom Amt für Bau und Immobilien, Abteilung Energiemanagement der Stadt **Frankfurt** verwendete und öffentlich zur Verfügung gestellte Tool „Gesamtkostenberechnung“, mit dem neben Kosten u. a. auch die Emissionen des Betriebs ebenso wie die mit dem Bau verbundenen Emissionen eines Gebäudes betrachtet werden können (vgl. Stadt Frankfurt am Main 2021). Die Ermittlung der mit dem Bau verbundenen Emissionen erfolgt dabei gemeinsam mit der ohnehin erforderlichen Berechnung von U-Werten.
- In den Planungsanweisungen für Städtische Liegenschaften in **Krefeld** finden sich Vorgaben zur Anwendung einer Ökobilanzierung im Planungsprozess zur Entscheidungsfindung und Optimierung des Treibhauspotenzials und anderer Umweltwirkungen (vgl. Stadt Krefeld 2020, S. 4). Weiterhin sind die bei der Baustoff- und Produktwahl zu berücksichtigende Materialanforderungen in einem materialökologischen Anforderungskatalog zusammengestellt (vgl. ebd., S. 29-38).
- Die Stadt **München** hat im Rahmen des ihres Förderprogramms Energieeinsparung die Fördermaßnahmen Nachwachsende Rohstoffe eingeführt. Die Förderung prämiiert den Einsatz nachwachsender, Kohlenstoff speichernder Baustoffe in und an der Gebäudehülle (vgl. Landeshauptstadt München 2021, S. 41). Eingehalten werden muss ein Material-Mindestanteil von 80 % an nachwachsenden, Kohlenstoff speichernden Baustoffen. Der Rohstoff muss in Deutschland oder maximal 400 km von München entfernt geerntet worden sein und eine Zertifizierung aufweisen (FSC, PEFC oder Naturland). Gefördert werden Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen sowie Vollholz oder Holzwerkstoffe in der Gebäudekonstruktion (z. B. Holzständerwände, Brettstapeldecken oder -wände).

3.6 Diskussion

In der Diskussion wurde berichtet, dass die Stadtverordnetenbeschlüsse zu einem verbesserten Bewusstsein führen, **Lebenszyklusbetrachtungen bereits frühzeitig im Planungsablauf anzugehen**. Zu beachten sei, dass sich durch den verstärkten Fokus auf graue Energie und graue Emissionen die Planungsphase verlängert.

In Hinblick auf anstehende Gesetzgebungen (z. B. die Berechnung des über den Lebenszyklus anfallenden Treibhauspotenzials von Neubauten sowie dessen Offenlegung im Energieausweis, siehe Abschnitt 3.3) und Beschlüsse der Stadtverordnetenversammlung sind die betroffenen städtischen Akteure bemüht, künftige Anforderungen möglichst früh zu antizipieren. In diesem Zusammenhang mehrfach betont wurde **die Vorreiterrolle der öffentlichen Hand und der professionellen Immobilienwirtschaft**. Private Eigentümerinnen und Eigentümer sind häufig baufachliche Laien und beschäftigen sich meist weniger mit globalen Betrachtungsweisen. Das Thema der Lebenszyklusbetrachtung ist oft nur schwer einzuschätzen.⁶ Sie profitieren jedoch von guten Beispielen im Sinne von Musterprojekten und Musterkonzepten sowie daraus resultierenden Erfahrungswerten und „Best Practices“. Unter anderem wirken sich die in entsprechenden Kontexten gesammelten Erfahrungen der Handwerksbetriebe positiv aus. Deshalb sollten entsprechende Erfahrungswerte der professionellen Akteure gefördert werden.

Hingewiesen wurde darauf, dass sich der Großteil des Gebäudebestands in privater Hand befindet, weshalb die „Aktivierung“ der privaten Eigentümerinnen und Eigentümer essentiell zur Erreichung der Klimaschutzziele ist.

Als **weitere wichtige professionelle Akteure** wurden die **im Handwerk und in Planungsprozessen tätige Personengruppen** genannt. Stellschrauben wurden hier u. a. in der Aus- und Weiterbildung sowie in der Berücksichtigung entsprechender Themen bei Ausschreibungen und in Vergabeverfahren gesehen (siehe auch Abschnitt 4.9).

Als von Bedeutung in diesem Zusammenhang angesehen wurde die **weitere Etablierung der Vernetzung innerhalb des Stadtkonzerns** unter der Hinzuziehung von weiteren fachkundigen Personen, wobei der Blick in die Zukunft gerichtet und Vorschläge für die Politik abgestimmt werden sollten.

Erläutert wurde, dass die sich derzeit in kurzen Zeitabständen ändernden Rahmenbedingungen eine Herausforderung darstellen, was sich unter anderem auf die Berechenbarkeit und die Vorhersehbarkeit von Förderung auswirkt. Das Aufzeigen guter Beispiele könne im Spannungsfeld mit Themen der Wirtschaftlichkeit dazu beitragen, Verunsicherung zu nehmen.

Wichtig sei zudem auch das Abwägen von Kompromissen bei Objekten, für die die Vorgaben unter den gegebenen Randbedingungen nicht vollständig eingehalten werden können.

Des Weiteren wurde festgestellt, dass beim Klimaschutz weiterhin um grundlegende Fragestellungen gekreist wird, obwohl die Zeit knapp ist. Dies wurde auf in der Vergangenheit zum Teil falsch gesetzte Anreize zurückgeführt.

Weiterhin bestand Einigkeit darüber, dass **passgenaue Informationsangebote** für alle Eigentumsarten (selbstgenutzt, vermietet, privat, institutionell) erforderlich sind. Vor allem werden niederschwellige

⁶ Herausforderungen und Potenziale bei der Betrachtung grauer Energie und grauer Emissionen bei der Modernisierung im privat gehaltenen Gebäudebestand wurden im Rahmen einer im s:ne-Projekt durchgeführten Schreibwerkstatt am Beispiel des Darmstädter Quartiers Mollerstadt näher betrachtet (vgl. Stein/Behr/Bellmer 2022; Stein/Behr/Bellmer 2023).

Informationsgrundlagen und Hilfestellungen für Personen ohne vertiefte Fachkenntnisse benötigt. Allerdings seien einige der besprochenen Themen nur schwer in die Gesellschaft zu kommunizieren. Zudem sind zwar im Internet eine Vielzahl von Informationen vorhanden, die jedoch nicht immer zusammenpassen und zu denen eine Einordnung oder Kontextualisierung fehlt. Die Verantwortung für die Bereitstellung, Empfehlung und Einordnung von Informationen wurde vorrangig bei der EU, dem Bund und anderen öffentlichen Stellen gesehen.

Als wichtig hervorgehoben wurde, dass niederschwellige Angebote nicht nur auf Informationsgrundlagen bezogen werden, sondern beispielsweise auch Baubegleitung, Energieberatung u. ä. beinhalten sollten. Ein Beispiel hierfür sei der Darmstädter Modernisierungskonvoi.⁷ Anknüpfungspunkte gäbe es jedoch viele. Ggf. könnten beispielsweise auch besondere Bemühungen bei Bauanträgen unterstützt werden. Zudem sei es wichtig, im Handwerk tätige Personen im Hinblick auf die Ansprache von Eigentümern und Eigentümerinnen zu schulen. Bei entsprechenden Angeboten sollten zudem auch die Verwaltungen von Wohnungseigentumsgemeinschaften mit einbezogen werden.

Zudem wurde die **Vermittlung entsprechender Inhalte in die Politik** als herausfordernd angesehen, beispielsweise bei der Rechtfertigung von durch die Lebenszyklusbetrachtung entstehenden Mehrkosten.

⁷ Der Modernisierungskonvoi ist eine Initialberatung, die im Auftrag der Wissenschaftsstadt Darmstadt kostenfrei für Eigentümer und Eigentümerinnen von Wohngebäuden angeboten wird (vgl. Wissenschaftsstadt Darmstadt 2022).

4 Ansatzpunkte zur Reduktion von grauer Energie und grauen Emissionen

Im Rahmen der dritten AG-Sitzung betrachtet und besprochen wurden verschiedene Ansatzpunkte zur Reduktion von grauer Energie und grauen Emissionen, die nachfolgend näher beschrieben sind. Darüber hinaus wurden in einem Praxisbeitrag relevante Planungsentscheidungen anhand von drei Projektbeispielen veranschaulicht.

4.1 Revitalisierung oder Neubau

Bei Planungen im Bestand muss häufig zunächst entschieden werden, ob die bestehende Bausubstanz revitalisiert oder zugunsten eines Neubaus abgerissen werden soll. Wie in Abschnitt 2.3.2 dargestellt gehen dabei Modernisierungsmaßnahmen durch den Erhalt vorhandener Strukturen mit weniger Materialeinsatz einher als Neubauten und sind insofern im Vergleich mit weniger grauer Energie und grauen Emissionen verbunden (siehe Abschnitt 2.3.2). Um eine bewusste Entscheidung für oder gegen die Revitalisierung eines Bestandsgebäudes treffen zu können, sind belastbare Entscheidungsgrundlagen erforderlich. In einem von der österreichischen IG Lebenszyklus Hochbau entwickelten Leitfaden (IG Lebenszyklus Hochbau 2014) wird erläutert, wie das notwendige Wissen für entsprechende Entscheidungen aufgebaut werden kann.

Im ersten Schritt ist eine gründliche Analyse der Ausgangslage erforderlich. Diese umfasst zum einen eine Bedarfserhebung, zum anderen eine Ist-Analyse des Bestands (Schritt 1). Bei der Bedarfserhebung soll besonderes Augenmerk auf Muss- bzw. Mindestkriterien gelegt werden, die bei allen im weiteren Verlauf betrachteten Lösungsvarianten enthalten sein müssen. Eine Analyse der Ist-Situation des Gebäudes soll Grundlagen schaffen, um den Aufwand für eine Revitalisierung abschätzen zu können.

Anschließend erfolgt eine SOLL-IST-Gegenüberstellung (Schritt 2). Diese wiederum dient als Grundlage für die Bildung von Varianten (Schritt 3), welche in einer Machbarkeitsstudie dargestellt und verglichen werden (Schritt 4). Es wird davon ausgegangen, dass anhand dieses Vergleichs eine fundierte Entscheidung möglich ist (vgl. ebd., S. 7-8, S. 11-13).

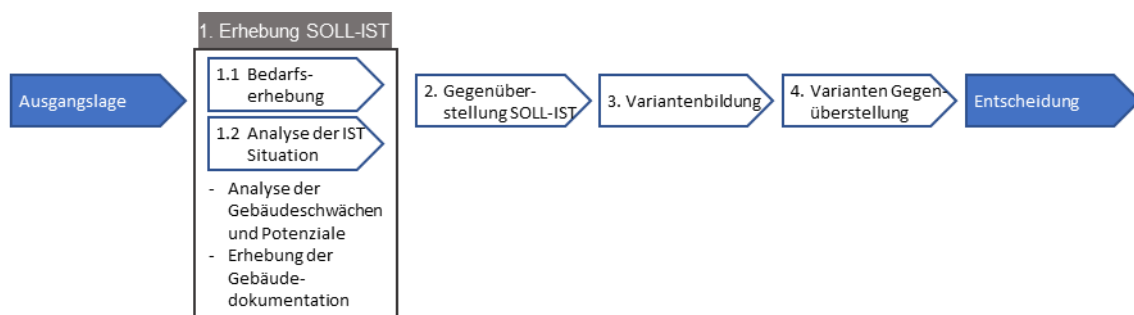


Abbildung 4: Prozessschritte zur Entscheidungsfindung (eigene Darstellung in Anlehnung an IG Lebenszyklus Hochbau 2014, S. 6)

Praxisbeispiel PassivhausSozialPlus

Ein ähnliches Vorgehen wurde beispielsweise auch bei dem Modellprojekt PassivhausSozialPlus in Darmstadt umgesetzt.⁸ Die Bestandssituation (bestehende Wohnzeile mit 3 Eingängen) wurde gründlich untersucht und den vorhandenen Bedarfen gegenübergestellt. Beispielsweise wurde geprüft, inwieweit der Abbruch der vorhandenen Balkone die Standfestigkeit des Bestandsgebäudes beeinträchtigt. Entschieden wurde, zwei Drittel des bestehenden Gebäudes (also 2 von 3 Eingängen) zu erhalten. Die benötigten barrierefreien Wohnungen jedoch ließen sich im Bestand nicht ohne weiteres umsetzen. Ein Drittel des Gebäudes wurde deshalb abgebrochen und durch einen Neubau ersetzt.

Darüber hinaus wurde geprüft, welche im Bestandsgebäude vorhandenen Elemente weiterverwendet werden können. Erhalten wurden beispielsweise die vorhandenen Geländer ebenso wie die Möbel der Einbauküchen, die aufbereitet und neu zusammengestellt wieder verwendet wurden oder auch die Ausstattung der vorhandenen Einbauschränke, die ebenfalls aufbereitet und wieder eingebaut wurden. Da diese Elemente auf Maß neu hätten angefertigt werden müssen, wurden hierdurch neben Energie und Emissionen auch Kosten gespart.

4.2 Berücksichtigung grauer Energie und grauer Emissionen in Planungswettbewerben

Ein weiterer Punkt im Vorfeld von Planungen ist das Thema der Wettbewerbsverfahren, bei denen Energie-Schwerpunkte sehr bewusst berücksichtigt werden müssen, um in diesen Bereichen zufriedenstellende Ergebnisse erzielen zu können.

Hierfür hat das Darmstädter Büro ee concept gemeinsam mit der TU Darmstadt eine Systematik für Nachhaltigkeitsanforderungen in Planungswettbewerben (SNAP) erarbeitet, die vom BMVBS veröffentlicht wurde. Darin enthalten sind unter anderem auch Auslobungsanforderungen für das Kriterium Baustoffe (vgl. Fuchs et al. 2013, S. 45)⁹. Als Indikatoren herangezogen werden hier das Bauvolumen (insbesondere die Reduktion von ressourcenintensiven Untergeschossflächen unter Geländeoberkante) sowie die Kompaktheit des Baukörpers, die Auswahl von Baustoffen mit geringen Umweltwirkungen und Reduktionen grauer Energie, die Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen und eine hohe Dauerhaftigkeit von Konstruktionen. Bei der Vorprüfung kann neben anderen qualitativen und quantitativen Kenngrößen – wie z. B. bezüglich der Verwendung nachwachsender Rohstoffe – auch das Bilanzergebnis zur grauen Energie mit einbezogen werden. Vorgeschlagen wird ein Vergleich der prozentualen Abweichung gegenüber des Mittelwerts.

Neben der Berücksichtigung entsprechender Punkte in der Auslobung spielt jedoch beispielsweise die Auswahl der personellen Besetzung der Jury eine entscheidende Rolle (siehe hierzu auch Abschnitt 4.9).

4.3 Berücksichtigung grauer Energie und grauer Emissionen in Planungskonzepten

Für frühe Planungsphasen bzw. für den Fall, dass keine rechnerische Ermittlung des Treibhauspotenzials im Lebenszyklus vorgesehen ist, wurde von der Gemeinsamen Forschungsstelle der Europäischen Kommission für das europäische Rahmenwerk Level(s) (siehe Abschnitt 3.3) eine Checkliste erarbeitet, die als Grundlage für eine Betrachtung von Brennpunkten im Rahmen einer Lebenszyklusanalyse

⁸ Die Angaben dieses Abschnitts basieren auf den Vorträgen des am 15. März 2022 von der Institut Wohnen und Umwelt GmbH, der Neuen Wohnraumhilfe gGmbH und der faktor10 Institut Darmstadt GmbH organisierten Online-Workshops „2 Jahre PassivhausSozialPlus: Erfahrungen, Ergebnisse, Sozialkonzept, Nebenkosten, Budgets und Baukosten“.

⁹ Inzwischen liegen aktualisierte SNAP Planungs- und Arbeitshilfen vor (siehe Fuchs et al. 2021, S. 54-55), in denen im Wesentlichen die gleichen Punkte genannt und erläutert werden.

dienen soll (vgl. Dodd et al. 2021 b, S. 10-11). Betrachtet werden insgesamt sechs Planungskonzepte, die Tabelle 3 jeweils kurz erläutert sind.

In dem in Tabelle 4 dargestellten Berichtsformat soll dokumentiert werden, ob und wie die Konzepte bei der Gebäudeplanung berücksichtigt wurden sowie welche Maßnahmen oder Entscheidungen in diesem Zusammenhang getroffen wurden.

Tabelle 3 **Level(s)-Checkliste zu relevanten Planungskonzepten (Quelle: Dodd et al. 2021b, S. 10-11; Hervorhebungen nicht im Original vorhanden)**

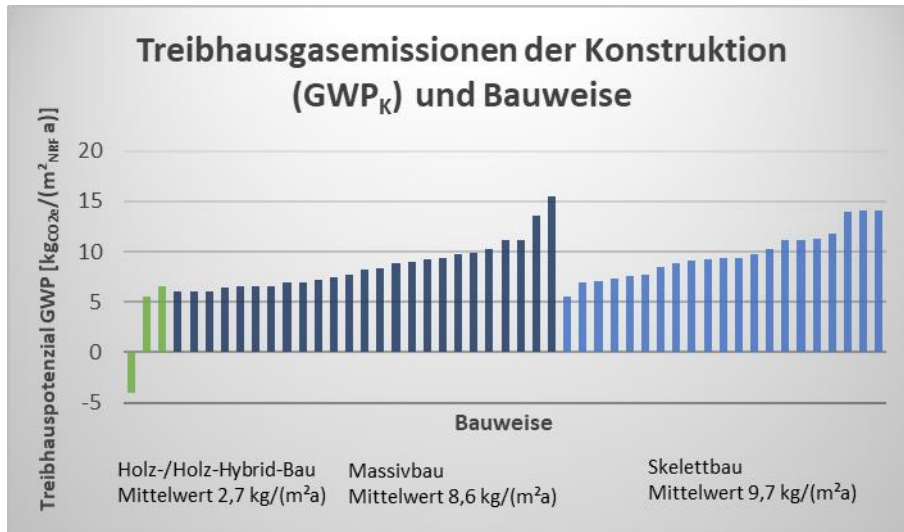
Planungskonzept	Kurzbeschreibung
1. Effiziente Gebäudegestalt und -form	✓ Minimierung des Oberfläche-zu-Volumen-Verhältnisses eines Gebäudes und einzelner Wohneinheiten sowie seiner Höhe mit dem Ziel, die Materialeffizienz zu verbessern und den Energieverbrauch möglichst gering zu halten
2. Optimierte Bauweise von Niedrigstenergiegebäuden	✓ Abwägung möglicher Zielkonflikte , da einerseits die Treibhausgasemissionen in der Nutzungsphase zu verringern sind, um ein Niedrigstenergiegebäude zu erreichen, aber andererseits bei der Herstellung von leistungsstärkeren Dämmungen, Fassaden- und Wandsystemen, Fenstern, thermischer Bauteilmasse und Technologien für erneuerbare Energien mehr energiebedingte graue Treibhausgasemissionen erzeugt werden
3. Optimierter Materialeinsatz und zirkulärer Wert	✓ Prüfen der Möglichkeit, die Struktur eines bestehenden Gebäudes wiederzuverwenden oder die strukturelle Gestaltung eines neuen Gebäudes so zu optimieren, dass der Materialeinsatz möglichst gering gehalten wird ✓ Prüfen von Möglichkeiten, die Abfallerzeugung bei der Herstellung von Produkten und der Bauausführung vor Ort zu beschränken oder sogar vollständig zu vermeiden und so den Materialeinsatz auf einer Baustelle zu optimieren
4. Verlängerung der Nutzungsdauer von Gebäuden und Gebäudekomponenten	✓ Prüfen von Möglichkeiten, wie die Lebensdauer wichtiger Gebäudekomponenten verlängert und die Zahl der Austausch- und Umbauzyklen so gering wie möglich gehalten werden kann
5. Anpassungsfähigkeit	✓ Berücksichtigung des in der Gebäudeplanung liegenden Potenzials, ein Gebäude flexibel an sich ändernde Markt- und Nutzerbedürfnisse anzupassen , wodurch sich die Lebensdauer des Gebäudes einschließlich seiner Struktur und seiner wesentlichen Elemente verlängert
6. Rückbau	✓ Berücksichtigung der Frage, wie die Gebäudegestaltung und die Informationsunterlagen über die im Gebäude verbauten Materialien („Materialbank“) den künftigen Rückbau am Ende der Lebensdauer erleichtern können, sodass Materialien für die Wiederverwendung und das Recycling zurückgewonnen werden

Tabelle 4 Berichtsformat zur Level(s)-Checkliste (Quelle: Dodd et al. 2021b, S. 11-12)

Planungskonzept für den Lebenszyklus	Berücksichtigt? (ja/nein)	Wie wurde es in das Gesamtplanungskonzept für das Gebäude integriert? (kurze Beschreibung angeben)
1. Effiziente Gebäudegestalt und -form		
2. Optimierte Bauweise von Niedrigstenergiegebäuden		
3. Optimierter Materialeinsatz und zirkulärer Wert		
4. Verlängerung der Nutzungsdauer von Gebäuden und Gebäudekomponenten		
5. Anpassungsfähigkeit		
6. Rückbau		

4.4 Korrelation zwischen der Materialität des Tragwerks und den Treibhausgasemissionen des Bauwerks

Im Hinblick auf die mit der Materialität des Tragwerks verbundenen Treibhausgasemissionen des Bauwerks hat die Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen (DGNB) eine Stichprobe von 50 Gebäuden analysiert, bei denen es sich überwiegend um größere Bürogebäude handelt (vgl. Braune et al. 2021, S. 3). 25 der betrachteten Gebäude wurden in massiver Bauweise errichtet, 22 in Skelettbauweise und 3 in Holz- bzw. Holzhybridbauweise. Der Mittelwert der Gebäude mit Massivbauweise liegt etwa 11 % unter dem der Gebäude in Stahlbeton-Skelettbauweise. Allerdings weisen alle drei Gruppen eine hohe Streuung der Ergebnisse auf (siehe Abbildung 5). Der Wert der Gebäude in Holz-/Holzhybridbauweise hat aufgrund der geringen Fallzahl nur wenig Aussagekraft. Erkennbar ist, dass die Kennwerte der Gebäude in Holz- bzw. Holzhybridbauweise zwar vergleichsweise niedrig sind, jedoch teilweise höher liegen als die niedrigsten Werte der anderen beiden Bauweisen.



Stichprobe der DGNB:
50 Gebäude

- 46 Bürogebäude
- 4 Wohngebäude
- 20 Objekte:
500 – 10.000 m² BGfA
- 19 Objekte:
10.000 – 20.000 m² BGfA
- 11 Objekte:
20.000 – 50.000 m² BGfA

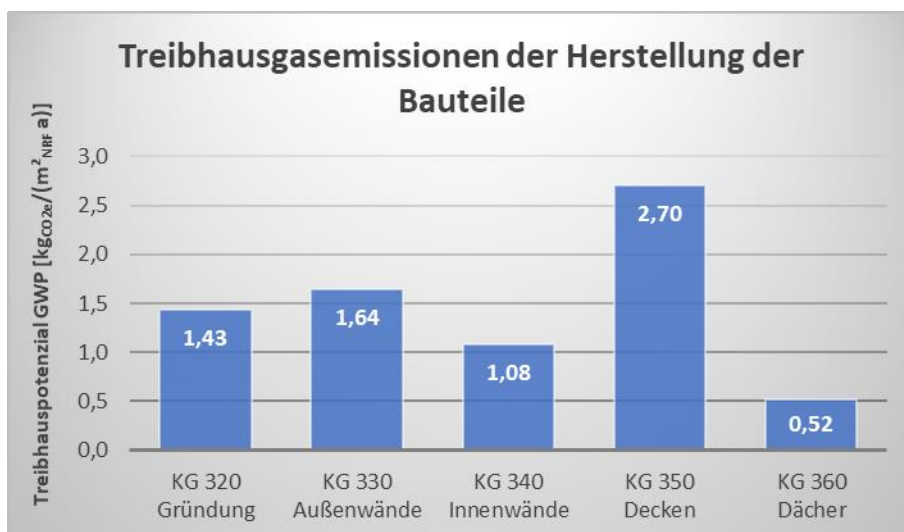
GWP_K steht für das Treibhauspotenzial des Bauwerks, das aus Baukonstruktion und technischen Anlagen resultiert

Abbildung 5: Treibhausgasemissionen (GWP_K) in Abhängigkeit von der Bauweise / Materialität des Tragwerks, n = 50 (eigene Darstellung nach Braune et al. 2021, S. 9; Daten aus Braune et al. 2021, S. 17-19; weitere Angaben: ebd., S. 2-3)

4.5 Treibhausgasemissionen der Herstellung nach Bauteilen

In der in Abschnitt 4.4 bereits erwähnten Studie der DGNB wurde auch untersucht, welche Bauteile den größten Einfluss an den Treibhausgasemissionen des Bauwerks haben. Entsprechende Daten lagen für 43 der 50 untersuchten Gebäude vor (vgl. Braune et al. 2021, S. 6).

Abbildung 6 zeigt die Ergebnisse der Mittelwerte der Bauteile der Kostengruppe (KG) 300 der DIN 279 für die Module A1-A3. Die Kostengruppe 350 (Decken) weist dabei den höchsten Wert auf. An zweiter Stelle stehen Außenwände, gefolgt von der Gründung, den Innenwänden und den Dächern.



Stichprobe der DGNB:
50 Gebäude

- 46 Bürogebäude
- 4 Wohngebäude
- 20 Objekte:
500 – 10.000 m² BGfA
- 19 Objekte:
10.000 – 20.000 m² BGfA
- 11 Objekte:
20.000 – 50.000 m² BGfA

Für die dargestellte Auswertung lagen Daten für 43 Gebäude vor.

Abbildung 6: Treibhausgasemissionen nach Bauteilen (Mittelwerte Module A1-A3), n = 43 (eigene Darstellung nach Braune et al. 2021, S. 7; weitere Angaben: ebd., S. 3, S. 6)

4.6 Hot Spot-Analyse

Bei der Hot Spot Analyse handelt es sich um eine semi-quantitatives Vorgehen, das zur Identifizierung von Materialien oder Prozessen dient, die wesentlich zum Ressourceneinsatz und/oder zur Umweltwirkung des betrachteten Gebäudes beitragen. In zwei vom Wuppertal Institut 2006 und 2007 erstellten Studien wird das Verfahren u. a. auch am Beispiel des Wohnbaus beschrieben (vgl. Wallbaum/Kummer 2006; Kristof 2007). Demnach wird die Analyse in drei Schritten ausgeführt: zuerst erfolgt die Abschätzung der Ressourcenintensität innerhalb einer Lebenszyklusphasen, dann wird der Ressourcenverbrauch zwischen den Lebenszyklusphasen gewichtet sowie abschließend durch eine integrierte Betrachtung der ersten beiden Analyseschritte relevante Hot Spots bzw. Brennpunkte identifiziert (vgl. Wallbaum/Kummer 2006, S. 13; Kristof 2007, S. 19).

In Tabelle 5 ist exemplarisch dargestellt, wie die Bewertung der Ressourcenintensität unterschiedlicher Kategorien (hier: abiotische und biotische Materialien, Wasser und Energie) in den einzelnen Lebenszyklusphasen (Rohstoff, Verarbeitung, Nutzung, Entsorgung) aussehen kann. Mit Hilfe einer ordinalen Punkteskala (1 = niedrige Relevanz, 2 = mittlere Relevanz, 3 = hohe Relevanz) erfolgt eine relative Gewichtung der einzelnen Kategorien zueinander (vgl. Wallbaum/Kummer 2006, S. 15; Kristof 2007, S. 20). Die in die Analyse einzubeziehenden Kategorien und Lebenszyklusphasen können je nach Bedarf definiert werden (siehe z. B. CSR Hub NRW 2017, S. 31).

Tabelle 5: Beispielhafte Bewertung nach der Höhe des Verbrauchs von Ressourcen und Energie bezogen auf die einzelne Lebenszyklusphase – Wertschöpfungskette Wohngebäude (eigene Darstellung basierend auf Wallbaum/Kummer 2006, S. 35-36)

Kategorie	Rohstoff	Verarbeitung	Nutzung	Entsorgung
Abiotische Materialien	3	2	2	1
Biotische Materialien	1	1	1	1
Wasser	2	2	2	1
Energie	3	2	3	2

Im zweiten Schritt werden die Lebenszyklusphasen untereinander gewichtet. Ziel ist die Bestimmung von Gewichtungsfaktoren, die die Relevanz einer Lebenszyklusphase für den gesamten Ressourcenverbrauch der Wertschöpfungskette ausdrücken. Dabei wird die gleiche Punkteskala wie im ersten Analyseschritt verwendet (vgl. Wallbaum/Kummer 2006, S. 16; Kristof 2007, S. 21). In Tabelle 6 ist beispielhaft aufgezeigt, wie eine solche entsprechende Bewertung aussehen könnte, wobei in dem gewählten Beispiel eine Untergliederung in nicht-energetische und energetische Kategorien als ausreichend empfunden wurde.

Tabelle 6: Beispielhafte Bestimmung von Lebenszyklusgewichtungsfaktoren durch die Betrachtung der relativen Relevanz der Phasen zueinander – Wertschöpfungskette Wohngebäude (eigene Darstellung basierend auf Wallbaum/Kummer 2006, S. 35-36)

Kategorie	Rohstoff	Verarbeitung	Nutzung	Entsorgung
Nicht-energetisch	3	1	2	1
Energie	2	1	3	1

Im dritten Schritt werden zur Identifizierung der Hot Spots die Ressourcenintensitätsfaktoren innerhalb der einzelnen Lebenszyklusphasen aus Schritt 1 mit den Lebenszyklusgewichtungsfaktoren aus Schritt 2 multipliziert. Als Hot Spots werden Bewertungen mit einem Ergebnis zwischen 6 und 9 Punkten bezeichnet. In dem in Tabelle 7 dargestellten Beispiel ergeben sich als Hot Spots der Materialverbrauch von abiotischen Ressourcen, Wasser und Energie in der Rohstoffphase sowie der Energieverbrauch in der Nutzungsphase (vgl. Wallbaum/Kummer 2006, S. 16-17; Kristof 2007, S. 21).

Tabelle 7: Beispielhafte Identifizierung der Hot Spots – Wertschöpfungskette Wohngebäude (eigene Darstellung basierend auf Wallbaum/Kummer 2006, S. 35)

Kategorie	Rohstoff	Verarbeitung	Nutzung	Entsorgung
Abiotische Materialien	9	2	4	1
Biotische Materialien	3	1	2	1
Wasser	6	2	4	1
Energie	6	2	9	2

Neben der Betrachtung von Hot Spots können mit dem gleichen Vorgehen ergänzend auch so genannte Sweet Spots identifiziert werden, um positive Auswirkungen aufzuzeigen (vgl. CSR Hub NRW 2017, S. 35). Hierfür kommen z. B. Reparaturfähigkeit, Demontierbarkeit, Möglichkeiten zur Weiterverwendung von Materialien in Frage.

Grundsätzlich eignet sich die Hot Spot Analyse als vorbereitender Schritt vor anschließenden tiefergehenden Lebenszyklusanalysen, um Schwachstellen in der Wertschöpfungskette zu identifizieren. Gleichzeitig hat die Hot Spot Analyse den Nachteil, dass bereits Erkenntnisse (aus anderen Projekten o. ä.) vorliegen müssen bzw. ggf. umfangreiche und zeitintensive Vorarbeiten erforderlich sind.

4.7 Einordnung der Einflussmöglichkeiten im zeitlichen Verlauf von Planungs- und Bauprozessen

Wie aus den vorhergehenden Ausführungen deutlich wird, bestehen wegweisende Einflussmöglichkeiten zur Reduktion von grauer Energie und grauen Emissionen bereits in den frühen Phasen der Planung, in denen wesentliche Entscheidungen zu Kubatur, Materialien, Versorgungssystemen etc. getroffen werden. Insgesamt bietet die Lebenszyklusbetrachtung ein großes Potenzial für Optimierungen im Laufe des Planungs- und Realisierungsprozesses (siehe Abbildung 7).

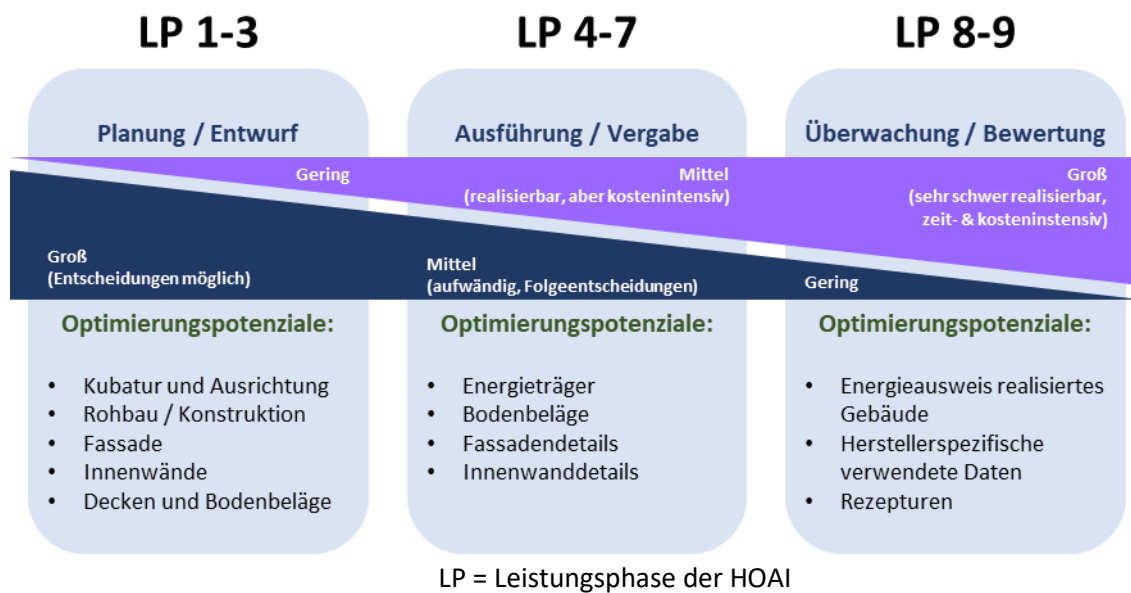


Abbildung 7: Optimierungspotenziale, Einflussmöglichkeiten und Aufwand von Änderungen im Planungs- und Herstellungsprozess (eigene Darstellung nach Braune et al. 2018, S. 7)

Vor allem in den frühen Planungsphasen besteht das Ziel darin, die Auswirkungen unterschiedlicher Ausführungsoptionen gegenüberzustellen und gegeneinander abzuwägen. Laut DGNB sollte hierfür bereits in den Leistungsphasen 2 bis 3 – also in der Vorplanung und der Entwurfsplanung – ein Ökobilanz-Modell aufgesetzt werden (vgl. DGNB 2018, S. 54; DGNB 2021, S. 63), wobei ganz zu Beginn der Planung einfache Werkzeuge gewählt werden können, wie z. B. die Nutzung von statistischen Kennwerten der Konstruktion als Berechnungseinstieg mit einer Kombination der energiebedingten Auswirkungen (vgl. DGNB 2018, S. 55; DGNB 2021, S. 64). Spätestens in Leistungsphase 4 (Genehmigungsplanung) soll der Bilanzrahmen des Ökobilanz-Modells mindestens dem von der DGNB vereinfachten Verfahren entsprechen (vgl. DGNB 2018, S. 55; DGNB 2021, S. 64).

Für die Verwendung des vereinfachten Rechenverfahrens sind Regeln zur Mengenermittlung für die Herstellungsphase von Außenwänden (inkl. Türen und Fenstern, Kellerwänden, Dach, Geschossdecken, Bodenplatte, Fundamenten, Innenwänden und Türen, Wärme- und Kälteerzeugungsanlagen, Lufttechnischen Anlagen sowie sonstige gebäudetechnische Anlagen und in Einzelfällen der Nutzer-ausstattung) vorgegeben, die mit Ökobilanzdaten verknüpft werden. Auf das Ergebnis werden pauschal 20 % aufgeschlagen (vgl. DGNB 2018, S. 61-62; DGNB 2021, S. 70-71). Beim vollständigen Rechenverfahren müssen alle Materialien berücksichtigt werden, die bestimmte Bedingungen erfüllen (z. B. Materialien größer 1 % der gesamten Masse des Gebäudes) (ebd.).

4.8 Praxisbeitrag Darmstädter Stadtentwicklungs GmbH & Co. KG (DSE) zu Planungsentscheidungen

Von der DSE wurden verschiedene im Hinblick auf graue Energie und graue Emissionen relevante Planungsentscheidungen anhand von drei in Darmstadt umgesetzten Projekten erläutert und veranschaulicht.

Beispielsweise musste beim Berufsschulzentrum Nord entschieden werden, inwieweit die bestehende Bausubstanz erhalten bleiben oder durch Neubau ersetzt bzw. ergänzt werden soll. Wesentliche Kriterien dabei waren der für einen Neubau benötigte (Grün-)Flächenverbrauch sowie die Statik des Bestandsgebäudes. Auch beim Bestandserhalt ist zu betrachten, wie viel graue Energie und Kosten für eine Ertüchtigung benötigt werden. Im Hinblick auf einen Abbruch stellt sich zudem die Frage, inwieweit die vorhandene Substanz weiter verwertet werden kann. Eine sortenreine Trennung der Materialien ist in der Regel aufwändig und teilweise nicht möglich, was einer Weiterverwendung im Wege steht. Zu berücksichtigen sind darüber hinaus ggf. verbaute Schadstoffe. Letztlich wurde entschieden, die vorhandene Bausubstanz zu sanieren und durch einen Neubau zu ergänzen, für den ein Wettbewerbsverfahren ausgelobt wurde.

Der Neubau und die Sanierung des Berufsschulzentrums wurden auf der Grundlage der 2016 geltenden Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) geplant, wobei die Planung die EnEV-Anforderungen deutlich unterschreitet. Der Einsatz grauer Energie musste nicht nachgewiesen werden. Die Nutzung von Solarenergie wurde auf einem Teil der Dachfläche vorgesehen. Abgesehen davon, dass Ausrichtung und Ertrag auf den übrigen Dachflächen nicht ideal sind, hätte auch die vorhandene Konstruktion für die Ausstattung mit PV-Anlagen noch zusätzlich ertüchtigt werden müssen. In der Planungsphase wurde auf Basis der zu diesem Zeitpunkt gültigen Anforderungen und Randbedingungen zwischen dem benötigten Aufwand (in Form von Kosten und grauer Energie) und dem resultierenden Nutzen abgewogen. Nachträgliche Änderungen wären mit hohem Aufwand verbunden.

Grundsätzlich stellt sich die Frage, ob technische Anlagen im Keller oder auf dem Dach platziert werden sollten. Da der Bau von Kellergeschossen oftmals mit einem hohen Einsatz grauer Energie verbunden ist (in der Regel wird hierfür Beton verbaut, der zudem häufig besondere Anforderungen wie Wasserdichtigkeit erfüllen muss), wird von der DSE die Installation technischer Anlagen auf dem Dach bevorzugt. Allerdings besteht dabei eine Konkurrenz zwischen dem Flächenbedarf für Technik, Photovoltaik, Dachbegrünung und Regenwassermanagement.

Dies war auch beim Neubau der Heinrich-Hoffman-Schule der Fall, zumal dort die Versickerung des Regenwassers in den vorhandenen felsigen Untergrund erschwert ist. Für das Vorhaben wurde ein Realisierungswettbewerb ausgelobt, wobei die Umsetzung des ausgewählten Wettbewerbsentwurfs mit hohen Anteilen an Stahlbeton verbunden sind. Bei den weiteren Planungen wurde deshalb darauf geachtet, den Einsatz von Beton möglichst zu reduzieren. U. a. werden vor der Betonkonstruktion vorgefertigte Holzfassaden montiert, darüber hinaus werden Stützwände begrünt. Bereits bei der Planung sollten auch die Entsorgung bzw. Wiederverwendung der Materialien mit betrachtet werden. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, ob die Betrachtung von Entwurfsplanungen unter dem Aspekt der „grauen Energie“ nicht eine höhere Variantenausarbeitung erfordert.

Als drittes Beispiel wurde die Planung für das Gebäude der Scentral vorgestellt. In diesem Fall hat sich die Revitalisierung des bestehenden Gebäudes als schwierig herausgestellt, weil die Bedarfe der künftigen Nutzung und weitere Randbedingungen nicht erfüllt werden konnten. Das bestehende Gebäude wird deshalb abgebrochen und durch einen Neubau ersetzt. Bei dieser Entscheidung spielten viele Faktoren eine Rolle, insbesondere Aspekte des Klimaschutzes, des Denkmalschutzes, der Barrierefreiheit, das Betreiberkonzept, die Mehrzahl der Bedürfnisse naher Anlieger etc.

Grundsätzlich ist über die Frage zu diskutieren, wie Entscheidungen bei Zielkonflikten wie z. B. zur Abwägung oder Vereinbarung zwischen PV und Dachbegrünung in den Planungsprozess integriert werden können und wie viel Vorlauf dafür in der Planung benötigt wird. Im Hinblick auf die Betrachtung grauer Energie ist dies zudem mit der Frage verbunden, in welchen Fällen Berechnungen erforderlich und wann Erfahrungswerte ausreichend sind. Zu berücksichtigen ist dabei beispielsweise auch die Statik für zusätzlich auf das Dach aufgebrachte Lasten, die nach Möglichkeit die Baustoffwahl nicht einschränken sollte. Beim Einsatz von PV können darüber hinaus auch Vereinbarungen mit dem Energieversorger eine Rolle spielen. Festlegungen und Entscheidungen sind dabei vor dem Hintergrund der zum Zeitpunkt der Planung vorherrschenden Randbedingungen zu sehen, die nachträglich nicht beliebig ohne Zeitverlust und/oder Kostensteigerungen veränderbar sind.

4.9 Diskussion

Angesprochen wurde die Fragestellung, welche Vorgaben in **Wettbewerbsverfahren** relevant sind und wie Wettbewerbsergebnisse sinnvoll verglichen werden können. Ergänzend zum Impulsvortrag wurde in diesem Zusammenhang auf das Excel-basierte SNAP-Vorprüfungstool (siehe ee concept GmbH 2021) hingewiesen. Von einem Teilnehmer wurde berichtet, dass seiner Erfahrung nach in Wettbewerbsjurs häufig andere, nicht-energiebezogene Schwerpunkte dominieren. Wichtig sei, dass eine Vorprüfung von einem fachkundigen Büro durchgeführt wird. Hilfreich sei, wenn bereits zu frühen Planungszeitpunkten Fachplanungsbüros für Haustechnik eingebunden sind. Zudem könnte auch die Verwendung heimischer Materialien ein Thema bei der Durchführung von Wettbewerben sein.

Im Rahmen der Diskussion wurde die Frage in den Raum gestellt, welche Tipps bzw. **Quick-Wins** in der Runde gesehen werden. Diesbezüglich genannt wurden:

- die Vorteilhaftigkeit der Holz-Hybridbauweise,
- die Umnutzung bestehender Gebäude,
- die genaue Prüfung der „hochkalorischen“ Baustoffe im Bestand – was kann erhalten, ersetzt oder ertüchtigt werden?

Es wurde jedoch angemerkt, dass die Möglichkeiten zur Um- und Weiternutzung von den Anforderungen und Bedarfen an die künftige Verwendung abhängen. Beispielsweise könne eine Rohbaukonstruktion bei bestimmten Nutzungen nur dann erhalten bleiben, wenn sich Barrierefreiheit umsetzen lässt. Berichtet wurde von dem Beispiel der „Hamburger Klassenhäuser“. Diese sind **flexibel und erweiterbar** gestaltet und können in kurzer Zeit errichtet sowie bei Bedarf an einen anderen Standort versetzt werden. Zu überlegen sei, wie Wohnungen im sozialen Wohnungsbau in ähnlicher Weise schnell auf unterschiedliche Bedürfnisse angepasst werden können.

Hingewiesen wurde darauf, dass – auch wenn die Bilanzierung von grauer Energie/grauen Emissionen grundsätzlich machbar ist – hierdurch ein zusätzlicher Aufwand entsteht. Ein Herantasten sei notwendig. Zunächst sollten deshalb die wesentlichsten Materialien betrachtet werden, ggf. kann auch eine Betrachtung typischer Gebäude mit einbezogen werden. **Relevant sind erste Abschätzungen gerade in den frühen Planungsphasen.** Jedoch stellt die Bilanzierung des Einsatzes der verbauten Materialmengen in frühen Planungsphasen eine Herausforderung dar und ist nach der Umsetzung der Maßnahmen deutlich einfacher. Im Sinne einer abgestuften Betrachtungsweise wie beim EU-Rahmenwerk Level(s) (siehe Abschnitt 3.3) wäre es zunächst wichtiger die Materialien mit den größten Mengenteilen bzw. den kritischsten Umweltwirkungen anzusehen als sämtliche Materialien im Detail zu betrachten.

Mehrfach erwähnt wurde, dass einfache Wege gesucht werden sollten, um Hot Spots und wesentliche Beiträge zu analysieren sowie daraus **Anleitungen und Handlungsempfehlungen** abzuleiten. Berichtet

wurde, dass für die Schweiz gut aufbereitete Unterlagen vorliegen, z. B. bereits durchgerechnete Konstruktionsbeispiele.¹⁰ Es sei wünschenswert, entsprechende Konzepte auf deutsche Verhältnisse zu übertragen. In diesem Zusammenhang erwähnt wurde der Eindruck, dass die Diskussion in Deutschland noch überwiegend auf akademischer Ebene verläuft und der Bezug zur Praxis noch nicht in ausreichendem Maße vorhanden ist.

Angemerkt wurde darüber hinaus, dass für eine weitere Verbreitung lebenszyklusbezogener Ansätze auch an das **serielle Sanieren angeknüpft** werden könnte.

Es wurde erläutert, dass Lebenszyklusbetrachtungen in der Regel nicht von den Teilnehmenden selbst umgesetzt, sondern nach außen vergeben werden. Dabei wurde die Erfahrung gemacht, dass die Fachkenntnisse zu Lebenszyklusthemen bei extern Beauftragten in sehr unterschiedlichem Maße vorhanden sind. Erläutert wurde in diesem Zusammenhang, dass die für Entscheidungen verantwortlichen Personen **die richtigen Fragen stellen** müssen. Vorschläge für Lösungsansätze sollten kritisch hinterfragt und auf Optimierungsmöglichkeiten überprüft werden. Geklärt werden sollte, wo die Werkstoffe herkommen, welche Alternativen es gibt und wie langlebig und wartungsarm die geplanten Konstruktionen sind. Wichtig ist eine Sensibilisierung aller Planungsbeteiligten, die zunächst lernen müssen, die Probleme zu erkennen. Dies sei häufig auch ein Lernprozess für beauftragte Planungsbüros.

Wie bereits in Abschnitt 3.6 erwähnt, wurde auch dem Handwerk bzw. den ausführenden Firmen eine wichtige Rolle zugesprochen. Es wurde angeführt, dass aufgrund der Gewährleistungspflicht möglicherweise bevorzugt bekannte und abschätzbare Technologien und Produkte angeboten werden. Es wurde jedoch auch erwähnt, dass bei den ausführenden Firmen keine abwehrende Haltung wahrgenommen wird. Vielmehr würden diese meist den Vorgaben ihres Auftrags folgen. In diesem Zusammenhang wurde die **Verantwortung der auftraggebenden Personen** hervorgehoben, gezielte Angebote für bestimmte Ausführungsarten, Produkte etc. einzuholen. Wichtig sei zudem, dass der Preis nicht das einzige Vergabekriterium darstellt und weitere Kriterien bereits in der Ausschreibung festgelegt werden.

Auch der Aspekt der **Suffizienz** wurde angesprochen. Einen zentralen Ansatzpunkt bietet die Reduktion der pro Kopf genutzten Gebäudefläche (z. B. Wohn- oder Bruttogrundfläche).

Bezüglich des Materialeinsatzes wurde die Frage gestellt, welche Alternativen es zu energieintensiven Baustoffen wie Stahl, Zement, Aluminium gibt.

Einzelne der Teilnehmenden haben sich in diesem Zusammenhang näher mit dem Einsatz von **Recyclingbeton** beschäftigt. Dabei wurde die Erfahrung gemacht, dass es schwierig ist diesen bei der Beauftragung eines Generalunternehmers auszuschreiben und Recyclingbeton lediglich von einem im näheren Umfeld befindlichen Werk hergestellt wird.

Berichtet wurde, dass der Einsatz von Recyclingbeton beispielsweise in Hamburg im Rahmen des EU-Projekts CIRCuIT weiter erforscht wird. Dabei wird davon ausgegangen, dass ein Teil der ansonsten aus dem Ausland bezogenen Betonzuschlagstoffe durch die Verwendung von aus Betonabbruchmaterial gewonnenen Zuschlagstoffen ersetzt werden können und dadurch graue Energie/Emissionen bei der Betonherstellung vermieden werden.

Darüber hinaus wurde erläutert, dass durch den Einsatz von **mit Carbon bewehrtem Beton** die Dicke von Bauteilen verringert werden und dadurch insgesamt Material gespart werden kann. Aktuell ist der

¹⁰ Siehe z. B. KBOB 2022 oder treeze Ltd. o. D.

Einsatz von Carbonbeton jedoch noch nicht marktüblich. Auch wurde darauf hingewiesen, dass das Recyclingpotenzial von Carbonbeton zunächst noch näher betrachtet werden muss.

Die **Holz-Hybrid-Bauweise** stellt eine weitere Option dar, um die Masse an verbautem Beton zu reduzieren. Berichtet wurde von der geplanten Umsetzung der Holz-Hybridbauweise durch die bauverein AG im Ludwigshöhviertel und auf dem Messplatz. Auch im Rahmen des Delta-Projektes¹¹ sollen von der bauverein AG weitere Erkenntnisse zum Einsatz verschiedener Materialien erlangt werden. Diese Entwicklungen stehen im Jahr 2022 allerdings noch am Anfang, so dass in den AG-Sitzungen noch keine auswertbaren Erkenntnisse vorlagen.

Angesprochen wurde, dass in der öffentlichen Diskussion die **Verwendung nachwachsender Rohstoffe**, insbesondere von Holz, als ein wesentlicher Lösungsansatz angesehen wird. Fraglich sei jedoch, wie mit **Konkurrenzen beim Einsatz entsprechender Rohstoffe** z. B. bei der Nutzung zur Energieerzeugung, als Baumaterial oder als Rohstoff für andere Einsatzzwecke umgegangen werden sollte.

Holz ist als Baumaterial in den letzten Jahren stärker in den Fokus gerückt, dies macht sich auch bei Preisen und Lieferzeiten bemerkbar. Aktuell (2022) gibt es hohe Kostensteigerungen beim Holzbau. Allerdings muss für eine ausreichende Nachwuchsrate gesorgt werden. Auch der hierfür notwendige Wassereinsatz sowie Transportwege sollten bedacht werden. Als weiterer Aspekt wurde die (örtliche) Herkunft des Holzes angesprochen. Beispielsweise wird für Fassadenverkleidungen sehr häufig sibirische Lärche verwendet, heimisches Lärchenholz ist hingegen nur schwer zu erhalten.

Zudem sei Holzbau einerseits zwar mit weniger Emissionen verbunden, andererseits jedoch auch nur eingeschränkt verfügbar. Die Bauweise ist darüber hinaus immer eine mehrdimensionale Betrachtung, bei der u.a. auch Anforderungen an den Brandschutz, den Schallschutz, die Nebenkosten in der Nutzungsphase etc. berücksichtigt werden müssen. Dabei gibt es in den Bundesländern unterschiedliche bauordnungsrechtlichen Vorgaben für Holzbauten. In den letzten Jahren gab es hier einige Änderungen, die den vermehrten Einsatz von Holz als Baustoff vereinfachen. Dies sei auch für den Lehmbau wünschenswert, der in Deutschland häufig nur beim Innenputz eingesetzt wird. Mit dem Alnatura-Gebäude gibt es in Darmstadt jedoch auch ein Best Practice Beispiel für einen Lehmbau.

Weiterhin wurden bezüglich des Einsatzes von Holz als Baustoff auf unterschiedliche Standpunkte in der öffentlichen Diskussion hingewiesen. Einerseits wird darin ein deutlich verstärkter Einsatz des Holzbaus gefordert.¹² Andererseits wird der Beitrag des Ersatzes energieintensiver Materialien durch Holz zum Klimaschutz ebenso wie die energetische Nutzung von Holz für fragwürdig gehalten und darauf verwiesen, dass der Zustand des Waldes in weiten Teilen des Landes kritisch und auch der Import von Holz nicht zielführend bzw. nachhaltig ist.¹³ Einige der Teilnehmenden äußerten, dass Holz von ihnen nicht als Mittel der Wahl für den Einsatz als Energieträger angesehen wird.

Grundsätzlich wurde darauf hingewiesen, dass Baustoffe **ortsnah** bezogen werden sollten, um nachteilige Transportwege zu vermeiden. Ebenso sollten insgesamt **weniger und weniger unterschiedliche Materialien verbaut** werden. Dabei spielen auch die Themen **Recycling und Nachnutzung** eine wichtige Rolle (siehe Abschnitt 6).

¹¹ In dem von der TU Darmstadt koordinierten und vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geförderten Projekt „Darmstädter Energie-Labor für Technologien in der Anwendung“ (DELTA; Laufzeit 05/2021-04/2026) „soll demonstriert werden, dass die technisch nachgewiesenen Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz und -flexibilisierung von urbanen Quartieren wirtschaftlich umsetzbar sind und diese auch gesellschaftlich akzeptiert werden. Hierfür sollen Methoden erprobt und weiterentwickelt werden, um erfolgreiche technische Pilotprojekte in die breite Anwendung zu bringen.“ (Technische Universität Darmstadt 2020-2022)

¹² Siehe hierzu z. B. BaylkaBau (2022) und Churkina et al. (2020)

¹³ Siehe hierzu Ibisch et al. (2020)

5 Ansätze für Gebäudekonzepte mit ausgeglichener Emissionsbilanz im Lebenszyklus

Die Bewertung der Treibhausgasneutralität von Einzelgebäuden ist bisher nicht eindeutig geklärt. Im Rahmen der AG wurden zwei Definitionsansätze für Gebäude mit ausgeglichener Emissionsbilanz im Lebenszyklus ebenso wie ein Praxisbeispiel betrachtet. In diesem Zusammenhang wurden zunächst die Begriffsbestimmung für (Netto-)Null-Emissionen bzw. (Netto-)Treibhausgasneutralität sowie Möglichkeiten für den Ausgleich bzw. die Kompensation von nicht vermeidbaren Treibhausgasemissionen besprochen.

5.1 (Netto-)Null-Emissionen und (Netto-)Treibhausgasneutralität

Gemäß IPCC (2018, S. 555) werden **Netto-Null-Emissionen** erreicht, wenn die anthropogenen Treibhausgasemissionen in der Atmosphäre durch den anthropogenen Abbau über einen bestimmten Zeitraum ausgeglichen werden.

Eine ähnliche Definition für **Netto-Treibhausgasneutralität** findet sich im Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG). Diese ist definiert als „*das Gleichgewicht zwischen den anthropogenen Emissionen von Treibhausgasen aus Quellen und dem Abbau solcher Gase durch Senken*“ (KSG § 2 Nr. 9).

Treibhausgasneutralität kann umgesetzt werden, indem keine entsprechenden Emissionen mehr verursacht oder verursachte Emissionen durch Kompensationsalternativen bzw. Offsets innerhalb oder außerhalb des Systems ausgeglichen werden (vgl. Bienert et al. 2017, S. 29). Der Zusatz „Netto“ dient darüber hinaus als Hinweis auf das Ergebnis einer Bilanz, „Netto-Null“ bzw. „Netto-CO₂- oder Treibhausgasneutral“ verweist auf eine ausgeglichene Bilanz (vgl. Lützkendorf 2021, S. 26).

5.2 Möglichkeiten für den Ausgleich bzw. die Kompensation nicht vermeidbarer Treibhausgasemissionen

Da Treibhausgasemissionen bei Bauprojekten derzeit in aller Regel nicht vollständig vermieden werden können, stellt sich die Frage, durch welche Ausgleichs- und Kompensationsmöglichkeiten eine ausgeglichene Treibhausgasbilanz erreicht werden kann. Grundsätzlich ist die Emissionsvermeidung einem späteren Ausgleich vorzuziehen, sodass gemäß der Priorisierung „vermeiden - vermindern – kompensieren“ nur unvermeidbare und nicht mehr reduzierbare Emissionen kompensiert werden sollten (vgl. Wolters et al. 2018, S. 9; Huckestein 2020, S. 71; Rechsteiner/Hertle 2022, S. 17). Die Basis für Kompensationsansätze bilden insofern die Minimierung des Energiebedarfs sowie die Maximierung der am/im Gebäude bzw. auf dem Grundstück produzierten erneuerbarer Energie bei gleichzeitig hohem Eigennutzungsanteil.

Lützkendorf (2021, S. 45-47) benennt mehrere in der Diskussion befindliche Möglichkeiten für den Ausgleich bzw. die Kompensation von Treibhausgasemissionen (siehe ergänzend auch Lützkendorf/Frischknecht 2020, S. 667-670):¹⁴

A. Gutschriften durch potenziell vermiedene Emissionen aus exportierter Energie

Wird am/im Gebäude bzw. auf dem Grundstück gewonnene Energie, die nicht selbst verbraucht werden kann, als Überschuss an Dritte „exportiert“, können dadurch potenziell Treibhausgasemissionen an anderer Stelle vermieden werden. Je nach Konvention können entsprechende Effekte in der Gesamtbilanz berücksichtigt und mit den im Lebenszyklus für Konstruktion und Betrieb des Gebäudes verbleibenden Emissionen verrechnet werden. Ein entsprechendes Vorgehen wird im

¹⁴ Die Ausführungen in Lützkendorf (2021) beziehen sich auf den Gebäudebetrieb, lassen sich aber sinngemäß auf Lebenszyklusbetrachtungen übertragen.

Rahmenwerk für klimaneutrale Gebäude und Standorte der DGNB (vgl. Braune et al. 2020) verfolgt (siehe Abschnitt 5.3.1).

Eine Treibhausgasneutralität wie in Abschnitt 5.1 beschrieben wird durch die Vermeidung von Emissionen an anderer Stelle jedoch nicht erreicht, so dass für die Umsetzung von Netto-Null-Emissionen eine Kombination mit einer ökonomischen Kompensation (Ansatz B) oder einem Ausgleich durch technische Maßnahmen (Ansatz C) erforderlich ist. Auch nimmt die Wirkung dieses Ansatzes bei voranschreitender Dekarbonisierung der Energieversorgung ab. Vor dem Hintergrund der Klimaziele (Treibhausgasneutralität bis spätestens 2045) ist der bei der Ökobilanzierung von Gebäuden meist gewählte Betrachtungszeitraum von 50 Jahren hier nicht zielführend.

Die Verrechnung der potenziell vermiedenen Emissionen ist nicht normkonform und wird in verschiedenen Nachhaltigkeitsbewertungs- und -berichtssystemen nicht berücksichtigt (z. B. im Rahmen des Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude, siehe BMI 2021, S. 5 und BMWSB 2022b, S. 8 oder dem Greenhouse Gas Protocol, siehe WBCSD/WIR 2004, S. 27-28). Um den positiven Beitrag für den Klimaschutz dennoch sichtbar zu machen, empfiehlt das Umweltbundesamt, die systemische Emissionsminderung nachrichtlich auszuweisen (Huckestein 2020, S. 38). Auch die Definition treibhausgasneutraler Gebäude in Lützkendorf (2021, siehe Abschnitt 5.3.3) folgt dem Ansatz, potenziell vermiedene Emissionen als Zusatzinformation gesondert anzugeben und auszuweisen.

B. Ökonomische Kompensation durch den Erwerb von Emissionszertifikaten

In der Bilanz verbleibende Treibhausgasemissionen werden durch den Erwerb von Emissionszertifikaten kompensiert, die zum Ausgleich derselben Emissionsmenge in Klimaschutzprojekten führen. Viele dieser Projekte sind in Schwellen- und Entwicklungsländern angesiedelt. Voraussetzung ist stets, dass das jeweilige Projekt ohne die Zertifikatserlöse nicht hätte durchgeführt werden können (vgl. Wolters et al. 2018, S. 9).

Anders als beispielsweise beim Betrieb von Kraftwerken ist der Erwerb von Emissionszertifikaten im Gebäudebereich bisher freiwillig. In ihrer Mitteilung zum europäischen Grünen Deal legt die Europäische Kommission jedoch dar, an einer Möglichkeit zu arbeiten, Emissionen von Gebäuden in den europäischen Emissionshandel einzubeziehen (vgl. COM(2019) 640 final, S. 11). Seit dem Sommer 2021 liegt ein Vorschlag für eine Richtlinie vor (COM(2021) 551 final), in dem die Emissionen des Gebäude- und Verkehrsbereichs durch ein neues, separates Emissionshandelssystem abgedeckt werden sollen.

Auch wenn hohe Qualitätsstandards für Kompensationsprojekte sicherstellen sollen, dass Treibhausgasemissionen tatsächlich in der angestrebten Höhe ausgeglichen werden, lokale Stakeholder einbezogen und ein Mehrwert (z. B. Biodiversität, Arbeitsplätze) gewährleistet werden (vgl. Wolters et al. 2018, S. 21-31), gibt es vielfältige Kritik am (freiwilligen) Kompensationsmechanismus. Beispielsweise gibt es Bedenken, dass Aufforstungsprojekte gegebenenfalls geopolitische Konflikte um Landnutzungsrechte verursachen können (vgl. Rechsteiner/Hertle 2022, S. 17). Auch zeigt eine vom Öko-Institut veröffentlichte Studie, dass zumindest in der Vergangenheit bei einem Großteil der untersuchten Kompensationsprojekte mit großer Wahrscheinlichkeit keine zusätzlichen Emissionen eingespart wurden (vgl. Cames et al. 2016, S. 11). Zudem besteht die Sorge, dass ein finanzieller Aufwand für die Kompensation zu Lasten des Klimaschutzes vor Ort gehen könnte, wenn nicht ausreichend Mittel zur Verfügung stehen (vgl. Rechsteiner/Hertle 2022, S. 17).

C. Ausgleich durch technische Maßnahmen

Durch eine einmalige oder laufende Investition in technische Maßnahmen zur Abscheidung und/o-der Speicherung von Treibhausgasemissionen (z. B. Negative Emission Technologies, kurz NET oder Carbon Dioxide Removal, kurz CDR) können die jährlichen Effekte als Ausgleich angerechnet werden, sofern entsprechende Maßnahmen technisch und wirtschaftlich umsetzbar sind.

Inwieweit diese Senken derzeit tatsächlich nachhaltig umgesetzt werden können, ist jedoch unsicher. In einer Kurzposition weist das Umweltbundesamt darauf hin, dass der Einsatz von CO₂-Entnahmetechnologien und anschließender Speicherung Gegenstand einer umfassenden, an

Nachhaltigkeitsprinzipien ausgerichteten Abwägung sein sollte, da die meisten CO₂-Entnahmetechnologien nach aktuellem Wissensstand mit potenziellen Risiken für die Umwelt und nachhaltige Entwicklung verbunden sind (vgl. Umweltbundesamt 2019, S. 2-3).

Huckestein (2020, S. 71) merkt zudem an, dass sich die (freiwillige) Kompensation in der kritischen Öffentlichkeit häufig dem Vorwurf des Greenwashing/der Grünfärberei ausgesetzt sieht. Um diesem Vorwurf entgegenzutreten, wird z. T. bewusst auf Kompensation verzichtet und ein Schwerpunkt auf das Vermeiden und Vermindern von Treibhausgasemissionen gelegt. In diesem Fall bleibt allerdings ein Sockel an unvermeidbaren Emissionen unausgeglichen und es fehlt ein Beitrag zur Finanzierung sinnvoller Klimaschutzprojekte.

Im Leitfaden „Klimaneutrale Kommunalverwaltung Baden-Württemberg“ spricht sich das ifeu gegen eine Anrechenbarkeit von Kompensationsprojekten auf die Treibhausgasbilanz von Kommunen und Kommunalverwaltungen aus und empfiehlt eine **freiwillige Übernahme der Klimafolgekosten** ohne Anrechnung auf die Treibhausgasbilanz (vgl. Rechsteiner/Hertle 2022, S. 19).

Umweltkosten werden bisher nur unzureichend internalisiert, d. h. den Verursachern angelastet. Entsprechend gibt es keine ausreichenden wirtschaftlichen Anreize, die Umweltbelastung zu senken. Zudem spiegeln Preise ohne vollständige Internalisierung der Umweltkosten nicht die ökologische Wahrheit wider. Hierdurch wird der Wettbewerb verzerrt und die Entwicklung und Marktdiffusion umweltfreundlicher Techniken und Produkte gehemmt (vgl. Umweltbundesamt 2021a).

Zur Einberechnung der Klimafolgekosten empfiehlt das Umweltbundesamt die Verwendung eines Kostensatzes von 195 €/2020/t CO_{2äq} für das Jahr 2020 bei einer Höhergewichtung der Wohlfahrt heutiger gegenüber zukünftigen Generationen und eines Kostensatzes von 680 €/2020/t CO_{2äq} bei einer Gleichgewichtung der Wohlfahrt heutiger und zukünftiger Generationen. Für 2030 steigen die empfohlenen Kosten auf 215 €/2030/t CO_{2äq} bzw. 700 €/2030/t CO_{2äq} an, für 2050 auf 250 €/2050/t CO_{2äq} bzw. 765 €/2050/t CO_{2äq} (vgl. Matthey/Bürger 2020, S. 8).

Für kommunale Verwaltungen wird vom ifeu (vgl. Rechsteiner/Hertle 2022, S. 19-20) das folgende Vorgehen vorgeschlagen, das im weiteren Sinne auch auf Neubau- und Modernisierungsprojekte übertragen werden kann:

1. Ausweisung der jährlichen Klimafolgekosten auf Basis der Treibhausgasbilanz der Kommunalverwaltung.
2. Einzahlung dieser Klimafolgekosten in einen (internen) Klimaschutz-Fonds, mit dem die Mehrkosten für Klimaschutzmaßnahmen bezahlt werden.
3. Berechnung der Klimafolgekosten möglicher Alternativen bei der Planung von Investitionen, so dass ggf. die (volks-)wirtschaftlichen Vorteile nachhaltiger Alternativen dargestellt werden können.
4. Wird der Absinkpfad nicht erreicht: Einzahlung der Klimafolgekosten überschüssiger Treibhausgasemissionen in den internen Klimaschutzfonds oder einen gesonderten Fonds, aus dem zusätzliche Klimaschutzmaßnahmen finanziert werden können.

5.3 Definitionsansätze für Gebäude mit ausgeglichener Emissionsbilanz im Lebenszyklus

Im Hinblick auf Ansätze für Gebäude mit ausgeglichener Emissionsbilanz im Lebenszyklus wurden im Rahmen der AG das Rahmenwerk für klimaneutrale Gebäude und Standorte der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) für den Bilanzrahmen Bau und Betrieb sowie der Vorschlag von Prof. Dr. Lützkendorf für treibhausgasneutrale Gebäude im Lebenszyklus betrachtet. Vom Eigenbetrieb Immobilienmanagement der Stadt Darmstadt wurde zudem ein Praxisbeispiel vorgestellt.

5.3.1 „Klimaneutrales Gebäude“ Bau- und Betrieb gemäß Rahmenwerk für klimaneutrale Gebäude und Standorte der DGNB

Im Rahmenwerk für klimaneutrale Gebäude und Standorte der DGNB (Braune et al. 2020) wird der Begriff der „Klimaneutralität“ für den Bilanzrahmen „Betrieb und Konstruktion“ wie folgt definiert:

„Klimaneutralität bei Betrachtung von im [sic] Bilanzrahmen „Betrieb und Konstruktion“ ist erreicht, wenn mehr Emissionen vermieden als erzeugt werden. Der Vermeidung durch exportierte Energie gegenüber steht die Summe der direkten und indirekten Treibhausgasemissionen der Energieerzeugung am Standort und der gelieferten Energie sowie den Treibhausgasemissionen der Konstruktion.“ (Braune et al. 2020, S. 13)

Dabei setzt sich die Summe der betrachteten Treibhausgasemissionen zusammen aus (vgl. ebd.):

- den gesamten Treibhausgasemissionen der Konstruktion, die durch Produktion, Bau, Nutzung, Lebensende und Recycling der für die Funktion des Gebäudes benötigten Materialien und Produkte verursacht werden, inklusive potenziellen Gutschriften für vermiedene Treibhausgasemissionen oder Belastungen nach dem Lebensende (ebd., S. 10),
- den indirekten Treibhausgasemissionen der gelieferten Energie über die Nutzungsdauer des Gebäudes (z. B. für Netzstrom, Fernwärme, Fernkälte sowie die Gewinnung und Bereitstellung von Brennstoffen; vgl. ebd., S. 8),
- den direkten Treibhausgasemissionen der Energieerzeugung (z. B. aus der Verbrennung von Brennstoffen für Heizwärme) über die Nutzungsdauer des Gebäudes (inklusive Vorketten, siehe ebd., S. 21),
- abzüglich der vermiedenen Treibhausgasemissionen durch exportierte Energie (z. B. Strom aus gebäudeverbundener PV-Anlage) über die Nutzungsdauer des Gebäudes. Als Gutschrift in die Bilanz eingehen, kann erneuerbar gewonnene Energie, die direkt am Standort selbst produziert wurde und nicht zur Deckung des Eigenbedarfs genutzt werden kann.¹⁵

Für einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren werden die Module A1-A3 (Herstellung), B1, B4-B6 (Nutzung), C3-C4 (Lebensende), D (Nachnutzung) nach DIN EN 15978 (siehe Abschnitt 2.1) in die Bilanz mit einbezogen (vgl. ebd., S. 11-12).

Bei der Bilanzierung wird der vollständige Energieeinsatz für gebäude- und nutzungsbedingte Prozesse erfasst. Hierzu zählen neben Wärme, Warmwasser, Kälte, Beleuchtung und Hilfsenergie auch der Energieeinsatz für Aufzüge, Rolltreppen, Gebäudeautomation, Strom für Produktion, Kommunikations- und Informationstechnologie, Haushaltsgeräte und Nutzerausstattung (vgl. ebd., S. 9).

Abweichend zu den Bilanzierungsregeln für Ökobilanzierungen für Wohngebäudezertifizierungen der DGNB (vgl. DGNB 2018, S. 63; DGNB 2021, S. 72), kann im Rahmen der Betrachtung „Klimaneutral

¹⁵ Grundsätzlich ist selbst erzeugte Energie vorrangig in dem Gebäude oder am Standort unmittelbar nach Erzeugung oder nach vorübergehender Speicherung zur Deckung des Eigenbedarfs zu nutzen. Aus dem Export von Energie resultierende Gutschriften können für die über die Jahressumme bilanziell überschüssige Energiemenge angerechnet werden. Der Jahresüberschuss an Energie wird dabei je Energieträger mit dem entsprechenden Emissionsfaktor des aufnehmenden Netzes multipliziert. Der vermiedene Einsatz des Referenz-Energieträgers geht dabei als Gutschrift in die Bilanz ein (Braune et al. 2020, S. 17-18).

betriebenes Gebäude - Bilanzrahmen Betrieb“ die Verwendung von Ökostrom oder vergleichbar extern zugekauften erneuerbaren Energieträgern als letzte Maßnahme einberechnet werden, sofern eine Reihe von Anforderungen an die Energieträgerlieferanten eingehalten werden (vgl. DGNB 2018, S. 57; DGNB 2021, S. 63).

Im Bilanzrahmen „Konstruktion“ sind bei einem Neubau sämtliche Bauteile der Konstruktion, bei einer Sanierung nur die neu eingebrachten Bauteile in die Bilanz einzubeziehen (vgl. Braune et al. 2020, S. 11). Kompensationsmaßnahmen können nicht in der Bilanz der absoluten Jahres-Treibhausgasemissionen berücksichtigt werden (vgl. ebd., S. 17).

Auch wenn die dargestellte Definition der DGNB mit „Klimaneutralität“ betitelt ist, bezieht sie sich auf den Ausgleich durch das Gebäude verursachter Treibhausgase durch die Vermeidung von Treibhausgasen an anderer Stelle. Eine Treibhausgasneutralität wie in Abschnitt 5.1 dargestellt, wird dadurch jedoch nicht erreicht. Eine Vermeidung von Emissionen durch den Export überschüssiger Energie aus gebäudeverbundenen PV-Anlagen ist zudem vor allem in dicht baubauten Gebieten bzw. bei Gebäuden mit einem ungünstigen Verhältnis von für PV nutzbaren Flächen zur konditionierten Nutzfläche im Gebäude nicht oder nur schwer zu erreichen. Auch nimmt die Wirkung dieses Ansatzes bei voranschreitender Dekarbonisierung der Energieversorgung ab (siehe Punkt A in Abschnitt 5.2).

5.3.2 Praxisbeispiele des Eigenbetriebs Immobilienmanagement der Stadt Darmstadt (IDA)

Basierend auf der Definition der DGNB für klimaneutrale Gebäude Bau und Betrieb (siehe vorheriger Abschnitt) wurde im Auftrag der IDA eine Gesamtbilanz für die Sanierung mit Erweiterung (Neubau) der Christoph-Graupner-Schule in Darmstadt erstellt. Unter anderem wurden dabei Ausführungsvarianten bei unterschiedlicher Dämmstoffwahl betrachtet. Mit Hilfe der Berechnungen sollte u. a. herausgefunden werden, wie groß eine PV-Anlage dimensioniert werden muss, um die durch Bau und Betrieb entstehenden jährlichen Treibhausgasemissionen (Umrechnung der baubedingten Emissionen auf einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren, Wärmeversorgung mit Fernwärme) bilanziell auszugleichen. Aus der Summe der verbleibenden Emissionen für Bau und Betrieb geteilt durch den Emissionsfaktor für Strom im Inland wurde die zum Ausgleich erforderliche PV-Strommenge abgeleitet. Dabei wurde nicht zwischen Eigennutzung und Netzeinspeisung des Stroms unterschieden. In einer ergänzenden Berechnung wurden zudem die Emissionen für den Bau der PV-Module berücksichtigt, was zu einer größeren Dimensionierung der Anlage führt.

Allerdings ergab sich hierbei die Schwierigkeit, dass der für die Bestandssituation nach DIN V 18599 ermittelte Endenergiebedarf spürbar von den realen Verbräuchen der letzten Jahre abweicht. Für den geplanten Zustand ergeben sich bei einer Bilanzierung mit dem Passivhaus-Projektierungspaket, dessen Ergebnisse erfahrungsgemäß besser mit den tatsächlichen Verbräuchen übereinstimmen, ebenfalls deutliche Abweichungen zur Bilanzierung nach DIN V 18599. Die unterschiedlichen Rechenergebnisse für den Betrieb führen letztlich zu verschiedenen Dimensionierungsansätzen für die PV-Anlage. Zu entscheiden ist zudem, ob für die Dimensionierung der Anlage das Recyclingpotenzial mit betrachtet oder außen vor gelassen werden soll.

Ebenfalls im Auftrag der IDA wurde das Treibhauspotenzial für den Neubau der Bertolt-Brecht-Schule in Darmstadt berechnet. Bei diesem Neubauvorhaben überschreiten baubezogenen Emissionen pro Jahr die jährlichen betriebsbezogenen Emissionen. Im Hinblick auf die baubezogenen Emissionen macht der Baustoff Beton etwa $\frac{3}{4}$ der Gesamtmenge aus. Nicht zu vernachlässigen sind auch die Aluminium-Fenster, die jedoch auch Recyclingpotenzial aufweisen.

5.3.3 Netto-treibhausgasneutrales Gebäude im Lebenszyklus

Lützkendorf (2021) schlägt für Gebäude, die eine Netto-Treibhausgasneutralität im Lebenszyklus erreichen, eine etwas abweichende Definition vor:

„Ein Gebäude wird dann als „netto-treibhausgasneutral im Lebenszyklus“ betrachtet, wenn: die Anforderungen des Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude an die Begrenzung der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus im höchsten Anforderungsniveau unterschritten werden, soweit diese für die entsprechende Gebäude- und Nutzungsart vorliegen.

- oder - die Treibhausgasemissionen im Betrieb mindestens auf ein Niveau reduziert werden, das sich bei Neubauten aus dem energetischen Standard EH 40, bei Modernisierungsmaßnahmen aus dem energetischen Standard EH 55 ergibt und Möglichkeiten der Erzeugung und Nutzung erneuerbarer Energie sowie der Konstruktionsoptimierung und des Einsatzes von Bauprodukten aus nachwachsenden Rohstoffen bzw. von Baustoffen mit geringen grauen Emissionen ausgeschöpft wurden (z.B. nachgewiesen durch das Erreichen gesonderter Anforderungswerte).*

- und - die verbleibenden Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus durch den Bezug von Ökostrom minimiert und/oder durch technische Maßnahmen für negative Emissionen, Investitionen in technische Maßnahme für negative Emissionen ausgeglichen und/oder den Erwerb zugelassener Zertifikate kompensiert werden und so eine Netto-Treibhausgasneutralität im Lebenszyklus nachgewiesen werden kann.

Im Falle einer Darstellung als netto-treibhausgasneutrales Gebäude sollen sowohl die Teile der Bilanz dargestellt (- x kg CO₂-Äquivalent /a zu + y kg CO₂-Äquivalent /a) und die Teilgrößen für den gebäudebezogenen und betriebsbedingten Anteil angegeben, als auch die Ansätze für Ausgleich oder Kompensation benannt werden.

Die Module D1 und D2 sollen als Zusatzinformation angegeben werden.

** In Anlehnung an Klimaschutzprogramm 2030“ (Lützkendorf 2021, S. 31)*

Die von Lützkendorf vorgeschlagene Definition orientiert sich an den Standards der Bundesförderung für effiziente Gebäude (siehe auch Abschnitt 3.4). Bei der Inanspruchnahme von Fördermitteln für eine Nachhaltigkeitsklasse erfolgt der hierfür erforderliche Nachweis über die Vergabe des Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude (QNG), wobei u. a. Höchstwerte für die Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus vorgegeben sind (vgl. BMWSB 2022a, S. 2; BMWSB 2022a, S. 7). Stand Mai 2022 liegen Siegelvarianten für den Neubau von Wohngebäuden sowie für den Neubau und die Komplettmodernisierung von Büro- und Verwaltungsgebäuden sowie Unterrichtsgebäuden vor (vgl. BMWSB 2022c, S. 2). Einbezogen werden dabei die Treibhausgasemissionen der Konstruktion sowie die mit dem Betrieb verbundenen direkten und indirekten Treibhausgasemissionen.

Für einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren werden die Module A1-A3 (Herstellung), B4, B6 (Nutzung), C3-C4 (Lebensende) nach DIN EN 15978 (siehe Abschnitt 2.1) in die Bilanz mit einbezogen, Ergebnisse für das Modul D (außerhalb des Betrachtungssystems liegende Vorteile und Belastungen) sind als Zusatzinformation anzugeben (vgl. BMI 2021, S. 4-5; BMWSB 2022b, S. 5). Anders als bei dem Ansatz der DGNB (Abschnitt 5.3.1) sind die Module B1 (Treibhausgase, die während der Betriebs- und Nutzungsphase aus Baustoffen oder Betriebsmitteln emittiert werden) und B5 (Modernisierung im Sinne von Umbau/Erneuerung) nicht in die Betrachtung einbezogen (vgl. Lützkendorf (2021, S. 17, S. 42).

Die Ermittlung des betriebs- und nutzungsbezogenen Anteils (Modul B6) erfolgt auf Grundlage des Gebäudeenergiegesetzes (GEG). Ergänzend werden eine Pauschale zur Berücksichtigung des Nutzerstroms sowie für Nichtwohngebäude Tabellenkennwerte für den Stromverbrauch von Aufzügen und zentralen Diensten in die Betrachtung mit einbezogen (vgl. BMI 2021, S. 5; BMWSB 2022a, S. 6, S. 22). Effekte einer Erzeugung und Nutzung von erneuerbaren Energien werden berücksichtigt und abweichend zum GEG gebäude- und standortspezifisch ermittelt (vgl. BMI 2021, S. 5, S. 16; BMWSB 2022a,

S. 6, S. 25). Werte für Ökostrom dürfen dabei nicht in Ansatz gebracht werden (vgl. BMI 2021, S. 16; BMWSB 2022a, S. 26), wobei im Rahmen der oben dargestellten Definition die gesonderte Darstellung von Ökostrom als Minderungsmaßnahme vorgeschlagen wird.

Das Recyclingpotenzial (Modul D1) sowie bei Dritten potenziell vermiedene Treibhausgasemissionen infolge gelieferter (= exportierter) Energie (Modul D2) fließen nicht in die unmittelbare Beurteilung der Erfüllung von Anforderungen ein, sind jedoch zusätzlich zu ermitteln und bezogen auf die Bezugsfläche und pro Jahr anzugeben (vgl. BMI 2021, S. 5; BMWSB 2022a, S. 5).

Als möglicher Ansatz für die verbleibenden Emissionen wird die Unterschreitung eines Anforderungswertes vorgeschlagen, der sich an einem nationalen oder sektoralen Restbudget orientieren könnte. Zur Ausweisung einer entsprechenden Ziel-, Planungs- und Nachweisgröße wäre eine Umrechnung eines Budgets pro m² Bezugsfläche erforderlich. Hierdurch würde ein „klimaverträgliches“ Gebäude im Lebenszyklus erreicht – für die Erreichung einer Netto-Treibhausgasneutralität im Lebenszyklus kann hingegen nur bei der Inanspruchnahme von Kompensationsmöglichkeiten ausgegangen werden (vgl. Lützkendorf 2021, S. 31).

5.4 Diskussion

Um graue Energie und graue Emissionen so weit wie möglich zu reduzieren, sind Variantenberechnungen erforderlich. Für die Bilanzierung stehen Ansätze aus verschiedenen Nachhaltigkeitsbewertungssystemen zur Verfügung. Mehrfach geäußert wurde der Wunsch, **sich auf ein gemeinsames Verständnis bezüglich der Anwendung von Rechenkonventionen in Darmstadt zu einigen**.¹⁶ Es solle vermieden werden, dass unterschiedliche Bewertungsansätze zu verschiedenen Priorisierungen führen oder dazu, dass für die geplanten Maßnahmen keine Fördermittel in Anspruch genommen werden können. Dies sei auch für den aktuell anstehenden Prozess der Erarbeitung einer kommunalen Wärmepfanung von Relevanz. Ebenso sollten Möglichkeiten zum „Schönrechnen“ vermieden werden.

Als Beispiele für Bewertungsansätze zu klärende Punkte wurden angesprochen:

- der Umgang mit Überschüssen an erneuerbar erzeugter Energie, d.h. ob und inwieweit bei einem Export eine Verrechnung zwischen den Objekten erfolgen kann.
Dabei wurde auch der derzeit oftmals verwendete Ansatz der Bewertung bei Dritten vermiedener Emissionen mit Faktoren für einen Verdrängungsstrommix bzw. Verdrängungswärme angesprochen. Es ist zu erwarten, dass sich diese Bewertung mit der weiteren Transformation des Energiesystems verändern wird. Bereits jetzt werden in Studien günstigere Bewertungen der lokalen Strombereitstellung in Deutschland ausgewiesen als dies im Gebäudeenergiegesetz (GEG) der Fall ist.¹⁷
- der Umstand, dass die Bewertung der Nutzungsphase nach GEG zu anderen Ergebnissen führt als beispielsweise Berechnungen mit dem Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP), wobei die Ergebnisse nach PHPP erfahrungsgemäß die realen Verbräuche von Neubauten etwas besser abbilden.
- der Umgang mit dem Bezug von Ökostrom.

Aus Sicht der Teilnehmenden wären möglichst einheitliche Berechnungsstandards und -konventionen auf Bundes- bzw. EU-Ebene anzustreben. Wie in Abschnitt 3 beschrieben, liegen Ansätze hierzu bereits

¹⁶ Für die vom Darmstädter Magistrat zu beschließenden Maßnahmen werden derzeit im Rahmen des Beschlusses zum Klimavorbehalt (MV 2020/0252) Prüfverfahren im Hinblick auf die Klimarelevanz der Beschlüsse im Einflussbereich der Stadt entwickelt.

¹⁷ Das GEG sieht für den nicht erneuerbaren Anteil von netzbezogenem Strom einen Primärenergiefaktor von 1,8 vor (Anlage 4) sowie einen Emissionsfaktor von 560 g CO_{2e}/kWh (Anlage 9 Nr. 3). In der ab Januar 2023 geltenden Novelle sind keine Änderungen vorgesehen. Vom IINAS wurde für die durchschnittliche Strombereitstellung aus dem lokalen Netz für das Jahr 2020 ein nicht-erneuerbarer kumulierter Energieverbrauch (KEV_{NE}) 1,37 kWh_{primär}/kWh_{el} sowie Treibhausgasemissionen in Höhe von 382 g CO_{2e}/kWh_{el} ermittelt (vgl. Fritzsche/Greß 2021, S. 5).

vor. Ergänzend wurde darauf hingewiesen, dass das Gebäudeenergiegesetz bis 2025 überprüft und möglicherweise bis 2030 im Hinblick auf die Einführung von Lebenszyklusbetrachtungen geändert wird – damit würde ein bundesweit geltendes Verfahren eingeführt. Man könne jedoch ggf. künftige Bewertungen früh antizipieren bzw. sich für die Übergangsphase auf einheitliche Vorgehensweisen in Darmstadt verständigen.

Hingewiesen wurde zudem darauf, dass aktuell keine verbindlichen Aussagen bezüglich des künftigen Energie-Mixes getroffen werden können und derzeitige Planungen deshalb eine diesbezügliche Flexibilität aufweisen sollten, was allerdings zu höheren Kosten führen kann.

Auch wurde angesprochen, dass bauliche Maßnahmen, die ein wesentlicher Faktor für den Wärmebedarf eines Gebäudes darstellen, in der Regel eine spürbar längere Lebensdauer aufweisen als Heizsysteme.

Von den Teilnehmenden wurde berichtet, dass eine **Kompensation durch Zertifikate** für sie bisher keine Rolle spielt und auch eher kritisch eingeschätzt wird. Grundsätzlich sollten Emissionen so weit wie möglich vermieden und (Ausgleichs-)Projekte vor Ort durchgeführt werden. Einige der Teilnehmenden haben die Erfahrung gemacht, dass bereits die vollständige Umsetzung der Auflagen zu Ersatzpflanzungen (Neupflanzung von Bäumen auf dem eigenen Grundstück oder im Stadtgebiet zum Ausgleich für gefälltete Bäume) eine Herausforderung darstellen können. Dennoch wurde die Auffassung vertreten, Kompensationsmaßnahmen nicht per se eine Absage zu erteilen.

Im Hinblick auf einen **Ausgleich über vermiedene Emissionen** – z. B. über an Dritte abgegebenen PV-Strom – wurde angemerkt, dass dieses Konzept gerade im dicht bebauten Stadtgebiet **nicht bei allen Gebäuden umsetzbar** ist. Zwar werden Ausgleichsmechanismen benötigt, wichtig sei jedoch, die eigentlichen Zielgrößen nicht aus dem Blick zu verlieren.

Zudem wurde die Frage in den Raum gestellt, inwiefern beispielsweise ein Wohnungsunternehmen zur Kompensation verpflichtet sei. Von diesem könne zwar der Energiestandard des Gebäudes, nicht jedoch das Nutzungsverhalten beeinflusst werden. In der Diskussion wurde darauf hingewiesen, dass ähnliche Fragestellungen im Zusammenhang mit der CO₂-Bepreisung diskutiert wurden und hierfür bereits einen Ansatz zur Aufteilung der Kosten zwischen Mietenden und Vermietenden vorliegt – bei Gebäuden mit gutem Wärmeschutz zahlen die Nutzenden einen höheren Anteil, bei Gebäuden mit schlechtem Wärmeschutz liegt die höhere Last bei den Vermietenden.¹⁸ Allerdings könne eine solche Aufteilung sehr komplex werden und ggf. dennoch zu einer unfairen Verteilung führen.

¹⁸ Siehe BMWK 2022 sowie [Entwurf eines Gesetzes zur Aufteilung der Kohlendioxidkosten](#) (Kohlendioxidkostenaufteilungsgesetz – CO₂KostAufG) vom 25.05.2022

6 Rückbau, Entsorgung und Nachnutzung von Baumaterialien

Ein wesentlicher Unterschied der beiden zuvor beschriebenen Definitionsansätze für Gebäude mit ausgeglichener Emissionsbilanz im Lebenszyklus ist der Umgang mit den Vorteilen und Lasten außerhalb der Systemgrenzen (Modul D der Lebenszyklusbetrachtung, siehe Abschnitt 2.1). Gemäß DIN EN 15978 lassen sich mit Modul D „*die umweltbezogenen Nettovorteile oder -belastungen quantifizieren, die sich aus der Wiederverwendung, dem Recycling und der Energierückgewinnung ergeben. Diese resultieren aus den Nettomaterialströmen und der exportierten Energie, die den von der Systemgrenze umfassten Bereich verlassen.*“ (DIN EN 15978:2012-10, S. 32)

Angaben im Modul D können technische Informationen ebenso wie Werte für die unterschiedlichen Wirkungsindikatoren der Ökobilanz beinhalten.

In einer aktuellen Entwurfsfassung der DIN EN 15978-1 wird zwischen Modul D1 – Recyclingpotenzial und Modul D2 – bei Dritten potenziell vermiedene Treibhausgasemissionen infolge gelieferter Energie¹⁹ unterschieden (DIN EN 15978:2021-09 Entwurf; siehe BMI 2021, S. 5).²⁰ Nachfolgend näher beschrieben werden die Angaben zum Modul D1 im Rahmen von Umweltproduktdeklarationen (englisch Environmental Product Declarations – kurz EPDs), die eng mit den Angaben zur Entsorgung (Modul C) verbunden sind, sowie der Status Quo der Verwertung mineralischer Bau- und Abbruchabfälle.

6.1 Bewertung der Nettoflüsse aus Wiederverwendung, Recycling, Energierückgewinnung und anderen Verwertungsverfahren

Die Betrachtung der Nettoflüsse aus Wiederverwendung, Recycling, Energierückgewinnung und anderen Verwertungsverfahren im Modul D1 der Lebenszyklusbetrachtung soll es ermöglichen, **bereits in der Planungsphase die Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit einer Entwurfsvariante einer quantitativen Bewertung zuzuführen** und so eine Lenkungswirkung zu erzielen (vgl. Mielecke et al. 2017, S. 93).

Unterschiede bei Bewertungen mit und ohne Einbeziehung des Moduls D1 sind in Abbildung 8 und Abbildung 9 exemplarisch für 1 m² Glas der Produktgruppe Flachglas, in Abbildung 10 und Abbildung 11 exemplarisch für 1 m³ kunstharzgebundene mitteldichte Holzfasersplatte dargestellt. Abbildung 8 und Abbildung 10 zeigen den jeweiligen Gesamt-Einsatz von nicht erneuerbarer Primärenergie (Summe der Nutzungen als Energieträger und als Rohstoff), Abbildung 9 und Abbildung 11 das jeweilige Gesamt-Treibhauspotenzial (Summe des Treibhauspotenzials fossiler Energieträger und Stoffe, des biogenen Treibhauspotenzials und des Treibhauspotenzials der Landnutzung und Landnutzungsänderung) für die Module A1-A3, C3-C4 und D.²¹

Aus Abbildung 8 und Abbildung 9 ist erkenntlich, dass der Produktionsprozess (Module A1-A3) des Glases mit einem nicht-erneuerbaren Primärenergieeinsatz von rund 34,6 MJ sowie einem Treibhauspotenzial²² von 2,7 kg CO₂-Äquivalenten verbunden ist (Datenbasis: ift Rosenheim GmbH 2021, S. 15). Für die Nachnutzung wurde in der EPD ein europäisches Standardszenario entsprechend EN 17074 berücksichtigt, bei dem zu 70 % von einer Entsorgung auf Deponien und zu 30 % von einem Recycling

¹⁹ im Sprachgebrauch auch exportierte Energie genannt

²⁰ In DIN EN 15643:2021-12 findet sich die gleiche Unterteilung mit etwas abweichenden Bezeichnungen. Modul D1 wird als „Nettoflüsse aus Wiederverwendung, Recycling, Energierückgewinnung und anderen Verwertungsverfahren“, Modul D2 mit „abgeführte Versorgungsmedien (z. B. elektrische Energie, thermische Energie Trinkwasser“ bezeichnet (vgl. Lützkendorf 2021, S. 17).

²¹ Im Hinblick auf die Kennwerte der Konstruktion im Rahmen der in Abschnitt 0 dargestellten Definitionen sind Angaben für die Module A4-A5 (Transport zum Verwendungsort und Montage), B (Nutzung) sowie C1-C2 (Rückbau und Transport nicht relevant.

²² Hier bezogen auf das gesamte Treibhauspotenzial, das in Umweltproduktdeklarationen auch als globales Erwärmungspotenzial - total bzw. global warming potential - total (GWP total oder GWP-t) bezeichnet wird.

ausgegangen wird (vgl. ebd., S. 9). In den Modulen C3 (Abfallbehandlung) und C4 (Beseitigung) ist dies mit einem vernachlässigbaren Einsatz nicht-erneuerbarer Primärenergie und daraus resultierenden Emissionen verbunden. Die für das Modul D dargestellten Werte resultieren aus dem Rückbau am Ende der Nutzungszeit. Berücksichtigt wurde dabei das Glas-Rezyklat aus Modul C3 abzüglich von in der Produktion (Modul A3) eingesetzten Scherben sowie Gutschriften aus Müllverbrennungsanlagen (Strom ersetzt Strommix (EU-28); thermische Energie ersetzt thermische Energie aus Erdgas (EU-28))²³ (vgl. ebd., S. 28-29). In der Summe resultieren ohne Berücksichtigung des Modul D rund 35 MJ nicht-erneuerbare Primärenergie, mit Berücksichtigung des Modul D sind es knapp 30 MJ. Das Treibhauspotenzial liegt ohne Berücksichtigung des Modul D bei 2,7 kg CO₂-Äquivalenten, mit Berücksichtigung des Modul D bei 2,4 kg CO₂-Äquivalenten.

Ein etwas anderes Bild ergibt sich für das Beispiel der kunstharzgebundenen mitteldichten Holzfaserplatte (Datenbasis: IBU 2021, S. 8), die als diffusionsoffene, wärmedämmende und zum Teil mittragende Beplankung in Dächern und Wänden eingesetzt werden kann (vgl. ebd., S. 3). Trotz des Einsatzes von rund 5.660 MJ nicht erneuerbarer Primärenergie in der Produktionsphase (A1-A3)²⁴ ergibt sich für das Treibhauspotenzial ein negativer Wert von -584 kg CO₂-Äquivalenten. Dieser ist auf den stofflichen Einsatz von Holz zurückzuführen, da der im Produkt enthaltene Kohlenstoff als Ressource mit angegeben sowie mit übrigen Aufwendungen des Moduls verrechnet wird (vgl. ebd., S. 9). Für das Modul C3 (Abfallbehandlung) wird davon ausgegangen, dass das Produkt am Lebensende energetisch verwertet wird, wobei der gespeicherte Kohlenstoff das Produktsystem verlässt und zu einer potenziellen Klimaerwärmung beiträgt (vgl. ebd.). Einem sehr geringen primärenergetischem Aufwand von 91 MJ steht deshalb mit 998 kg CO₂-Äquivalenten ein vergleichsweise hohes Treibhauspotenzial gegenüber. Da das angesetzte Szenario die energetische Verwertung des Produkts vorsieht, entstehen keine Umweltwirkungen aus der Abfallbehandlung in Modul C4. In Modul D wird die energetische Verwertung des Produktes am Lebensende inklusive den entsprechenden energetischen Substitutionspotenzialen in Form eines europäischen Durchschnittsszenarios beschrieben (vgl. ebd., S. 6). Die negativen Werte in Modul D ergeben sich dadurch, dass die durch die energetische Verwertung des Produktes erzeugte Energie die Verbrennung von fossilen Energieträgern ersetzen kann (vgl. ebd., S. 9).²³ Bei der Betrachtung der Wirkungen aller einbezogener Module ergibt sich ohne Berücksichtigung des Moduls D sowohl bei der nicht erneuerbaren Primärenergie als auch beim Treibhauspotenzial positive Werte (5.751 MJ bzw. 414 kg CO₂-Äquivalente). Bezieht man die Werte des Moduls D in die Betrachtung mit ein, ergibt sich für die nicht erneuerbare Primärenergie mit -1.269 MJ ein negativer Wert, für das Treibhauspotenzial mit 62 kg CO₂-Äquivalenten ein deutlich reduzierter Wert.

²³ Da detaillierte Kenntnisse und konkrete Zahlenwerte für eine produkt- und standortspezifische Bewertung des Recyclingpotenzials meist nicht vorliegen, wird das Lebensende eines Produkts in der Regel in Form eines oder mehrerer Szenarien dargestellt. Diese müssen laut den Regeln der Ökobilanzierung nach EN 15804 durch real in der Gegenwart stattfindende Prozesse beschrieben werden, um verifizierbare Annahmen und Berechnungen durchführen und ein sinnvolles Maß an Zuverlässigkeit erreichen zu können (vgl. Trinius et al. 2020, S. 21) – auch wenn die zu bewertenden Prozesse in der Regel noch weit in der Zukunft liegen.

Ähnlich wie bei der Bewertung potenziell vermiedener Emissionen aus exportierter Energie (siehe Abschnitt 5.2) nimmt jedoch die Wirkung des Ersatzes fossiler Energieträger durch die thermische Verwertung von Produkten bei voranschreitender Dekarbonisierung der Energieversorgung ab.

²⁴ Bei der Herstellung wird das zerkleinerte Holz u. a. bei hohem Druck gekocht (vgl. IBU 2021, S. 3).

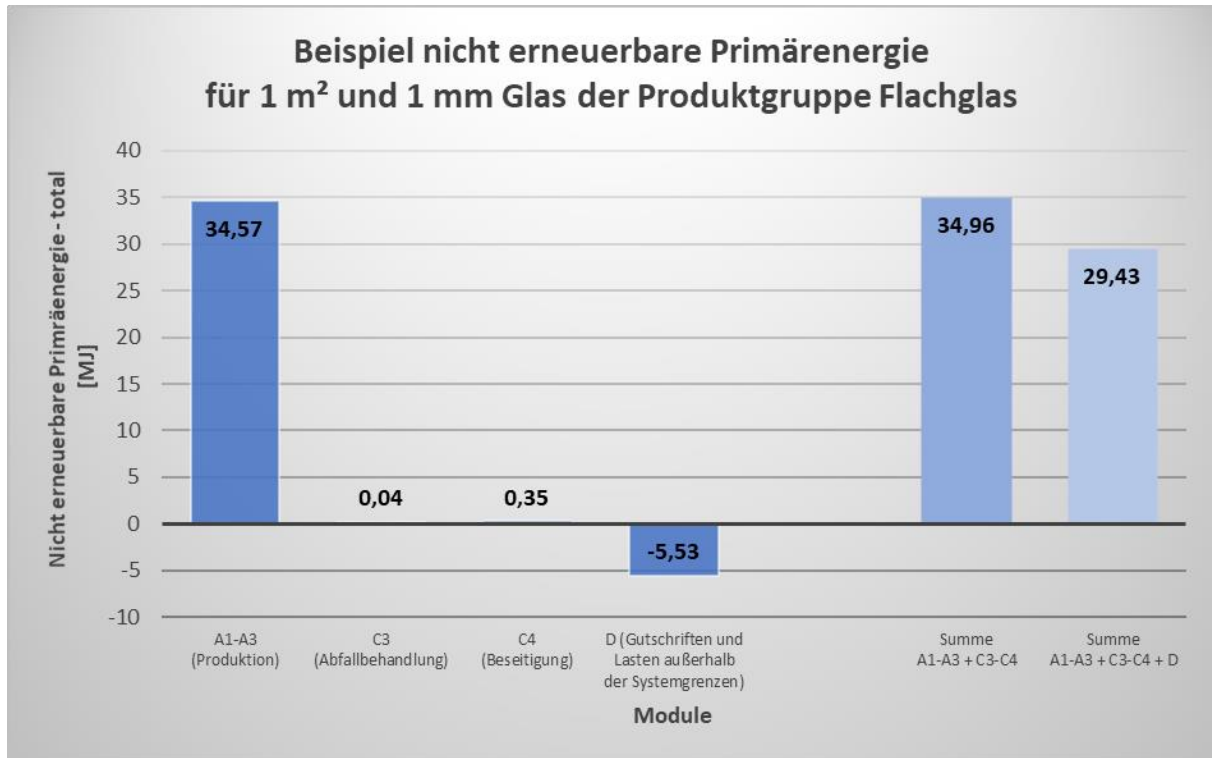


Abbildung 8: Nicht erneuerbarer Primärenergieeinsatz für 1 m² und 1 mm der Produktgruppe Flachglas (unbeschichtetes Flachglas, Verbundsicherheitsglas, beschichtetes Flachglas) (eigene Darstellung auf Basis der Daten aus ift Rosenheim GmbH 2021, S. 15)

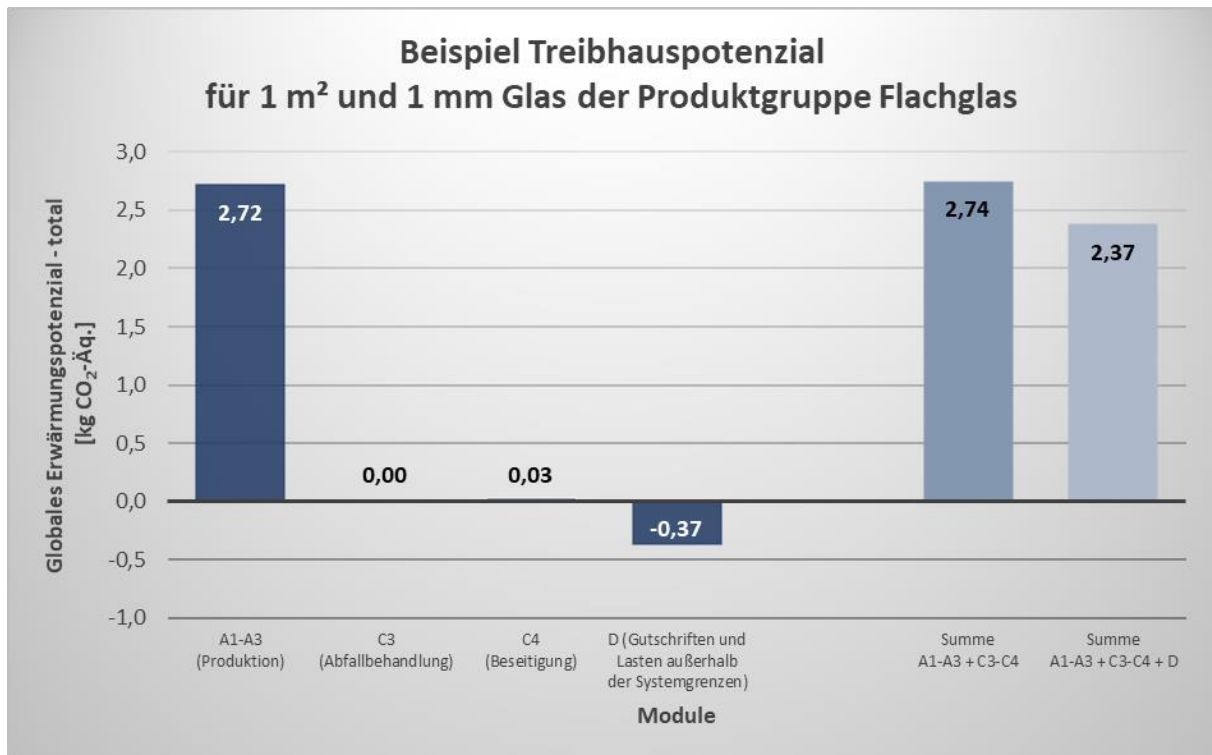


Abbildung 9: Treibhauspotenzial für 1 m² und 1 mm der Produktgruppe Flachglas (unbeschichtetes Flachglas, Verbundsicherheitsglas, beschichtetes Flachglas) (eigene Darstellung auf Basis der Daten aus ift Rosenheim GmbH 2021, S. 15)

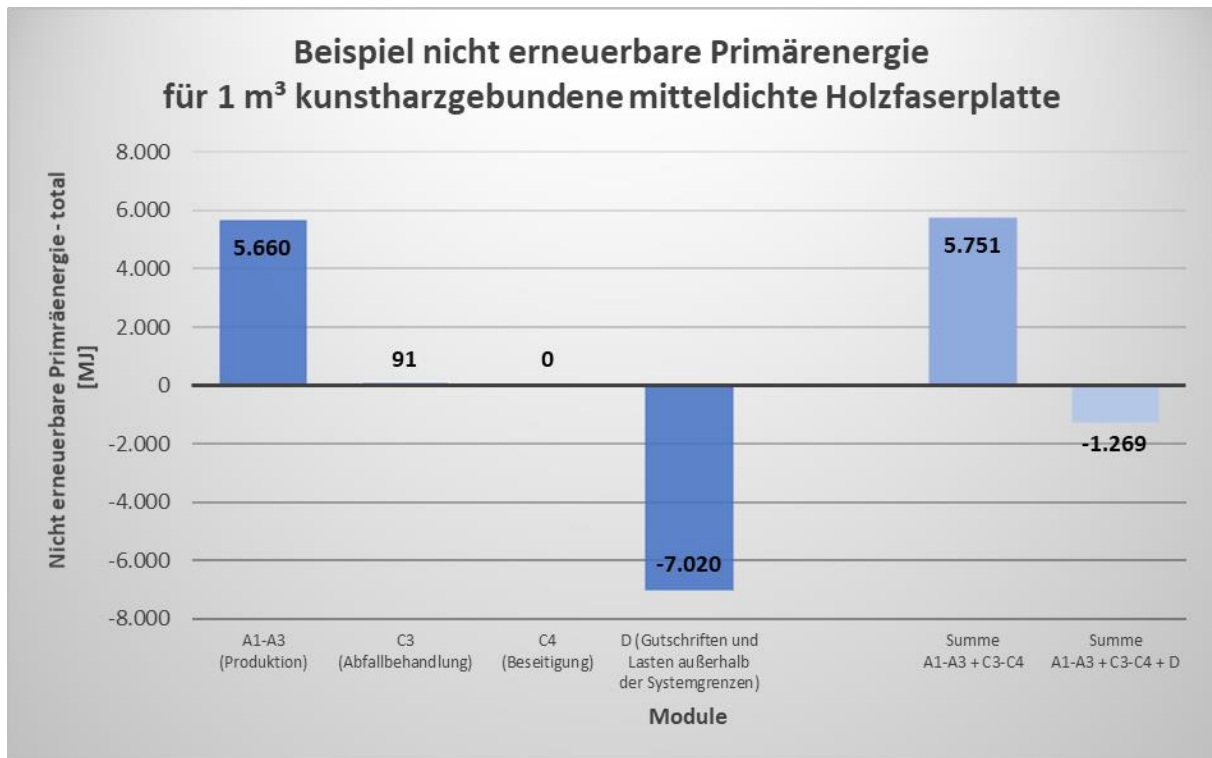


Abbildung 10: Nicht erneuerbarer Primärenergieeinsatz für 1 m³ kunstharzgebundene mitteldichte Holzfaserplatte (eigene Darstellung auf Basis der Daten aus IBU 2021, S. 8)

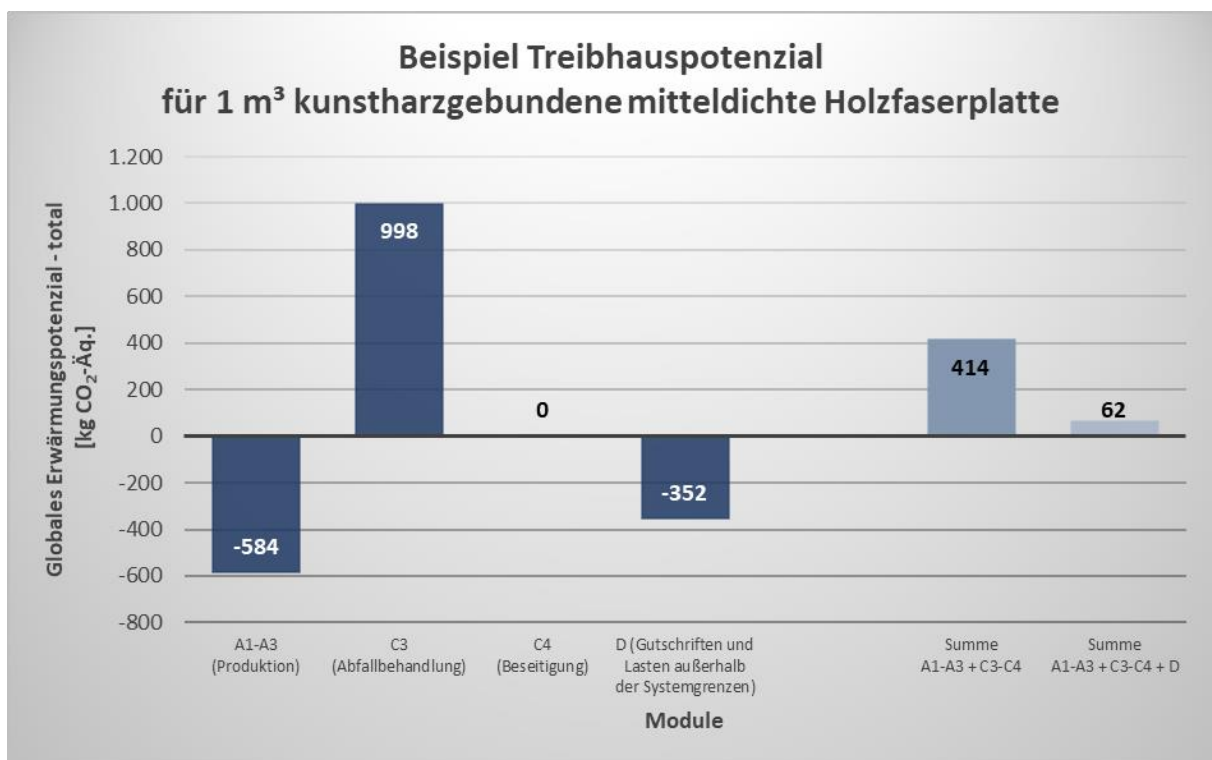


Abbildung 11: Treibhauspotenzial für 1 m³ kunstharzgebundene mitteldichte Holzfaserplatte (eigene Darstellung auf Basis der Daten aus IBU 2021, S. 8)

6.2 Statistische Angaben zu Aufkommen und Verwertung von Bau- und Abbruchabfällen

Das Umweltbundesamt (2021b) verweist darauf, dass für die Umsetzung der für den Gebäudebereich angestrebten Kreislaufwirtschaft **Abfälle beim Bau und Abbruch von Gebäuden möglichst vermieden werden sollten**, beispielsweise durch die Erhaltung bestehender Bausubstanz und auf lange Nutzungsdauern ausgelegte Konstruktionen. **Nicht vermeidbare Abfälle sollten durch recyclinggerechtes Konstruieren, einen recyclinggerechten Baustellenbetrieb und einen recyclinggerechten Abbruch im Wirtschaftskreislauf gehalten werden.** Die Beseitigung von Bau- und Abbruchabfällen sollte auf das unumgänglich notwendige Maß beschränkt bleiben und umweltgerecht erfolgen.

Die aktuelle Situation des Aufkommens und der Verwertung von Bau- und Abbruchabfällen ist nachfolgend zusammengefasst.

Bau- und Abbruchabfälle sind mengenmäßig die größte Abfallgruppe in Deutschland und hatten im Jahr 2018 mit 228 Mio. t einen Anteil von rund 55 % am gesamten Abfallaufkommen (417 Mio. t) in Deutschland (vgl. Destatis 2021, S. 30, siehe Abbildung 12).

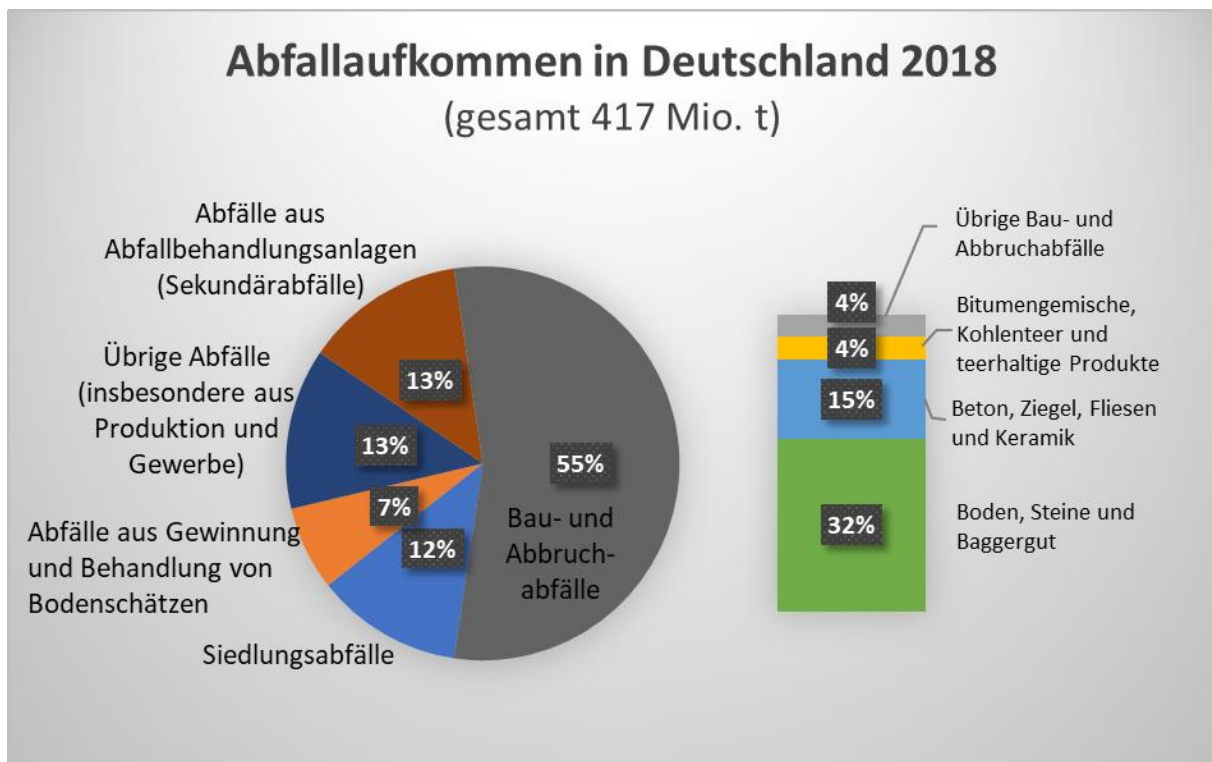


Abbildung 12: Abfallaufkommen in Deutschland 2018 nach Art des Abfalls (eigene Darstellung auf Basis von Daten aus Destatis 2021, S. 30)

Ausführlichere Erläuterungen zum Aufkommen und Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2018 sind im Monitoring-Bericht der Initiative Kreislaufwirtschaft Bau zusammengefasst (Bundesverband Baustoffe - Steine und Erden e.V. 2021). Dem Bericht zufolge entfielen 2018 60 % der mineralischen Bauabfälle auf die Fraktion „Boden und Steine“, 27 % auf Bauschutt, je 6 % auf Baustellenabfälle und Straßenaufbruch sowie 0,3 % auf Bauabfälle auf Gipsbasis (siehe Abbildung 13).

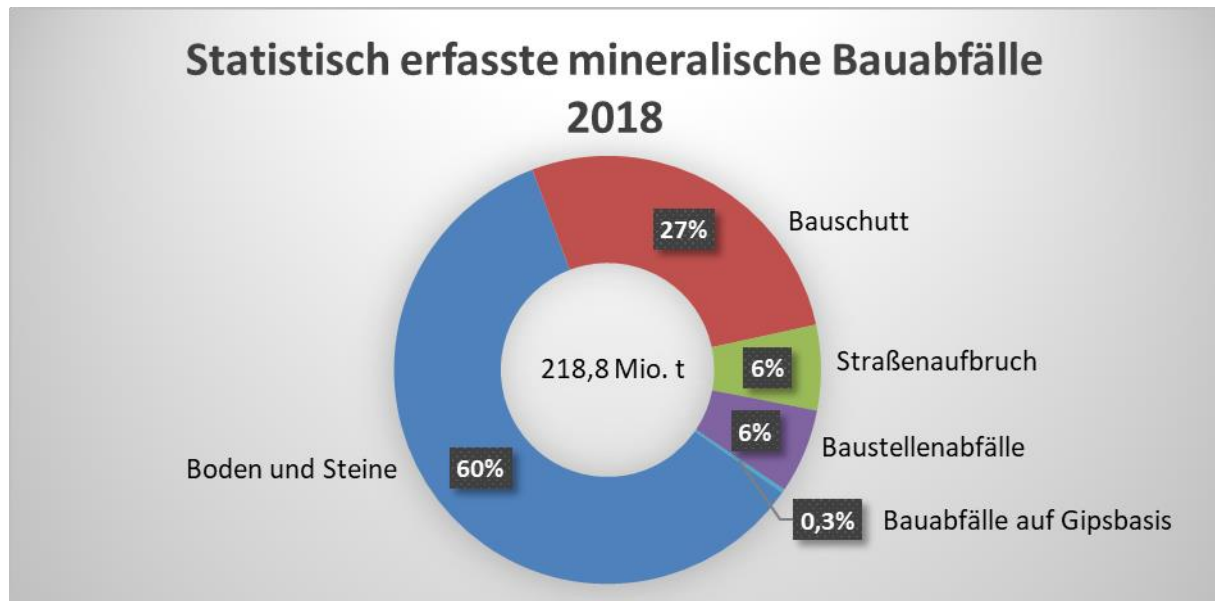


Abbildung 13: Statistisch erfasste mineralische Bauabfälle 2018 (eigene Darstellung auf Basis von Daten aus Bundesverband Baustoffe - Steine und Erden e.V. 2021, S. 6)

Rund die Hälfte der 2018 angefallenen mineralischen Baustoffe wurde in übertägigen Abgrabungen und im Deponiebau verwertet, gut ein Drittel (34 %) wurde recycelt bzw. für die Herstellung von Recycling-Baustoffen verwendet, 10 % auf Deponien beseitigt und 6 % einer sonstigen (thermischen) Verwertung zugeführt (vgl. ebd., S. 7-9).

Aus den mineralischen Abfällen der Fraktionen Bauschutt und Straßenabbruch sowie Boden und Steine des Jahres 2018 wurden rund 73 Mio. t Recycling-Baustoffe (Gesteinskörnungen) hergestellt. Dies entspricht 12,5 % der 2018 insgesamt produzierten Gesteinskörnungen. 51 % dieser Recycling-Baustoffe wurden im Straßenbau, 22 % im Erdbau und 5 % in sonstigen Anwendungen (überwiegend im Deponiebau) verwertet, lediglich 22 % wurden in der Asphalt- und Betonherstellung eingesetzt (vgl. ebd., S. 10-11).

6.3 Diskussion

Von einem der Praxisakteure wurde berichtet, dass die Auswahl der eingesetzten Materialien und Baustoffe u. a. durchaus auch durch deren Recyclingpotenzial beeinflusst wird und bevorzugt recyclingfähige Baustoffe eingesetzt werden. **Wenig Erfahrungen gibt es hingegen mit dem Einbau von recycelten Produkten und der Weiterverwendung gebrauchter Materialien.** Das Angebot hierzu ist derzeit noch begrenzt. Zudem gibt es bisher wenig Unternehmen, die Erfahrungen beim Einbau solcher Materialien haben. Hierfür bedarf es einer größeren Nachfrage.

Die erforderliche Aufbereitung von gebrauchten Materialien ist zudem oftmals aufwändig (z. B. die Entfernung von Mörtel- oder Kleberesten auf Fliesen). Bisher werden der Erhalt bzw. die Weiterverwendung von Materialien und Bauteilen (wie z. B. Fliesen oder Türen) insbesondere im Denkmalschutz umgesetzt. Die damit verbundenen Lernprozesse wurden als hilfreich und wichtig angesehen.

Den Erfahrungen der Teilnehmenden zufolge **werden beim Abbruch alter Bausubstanz oftmals nur wenige Materialien direkt weiter verwertet.** Dabei erschwert die oftmals nicht mögliche sortenreine Trennung eine Rückführung in den Wertstoffkreislauf. Berichtet wurde, dass deshalb beispielsweise für die Luxemburger Nachhaltigkeits-Zertifizierung (LENOZ) zusätzlich zu einer Dokumentation der

beim Bau verwendeten Materialien und Konstruktionen eine Beschreibung der Demontagefähigkeit vorzulegen ist.²⁵

In der Runde wurde bestätigt, dass die Demontierbarkeit von Konstruktionen eine Rolle spielt und darauf geachtet wird, möglichst wenig nicht demontierbare Konstruktionen zu verwenden – auch aus vom Klimaschutz unabhängigen Gründen. Z. T. seien entsprechende Konzepte jedoch mit einem höheren Aufwand verbunden.

Darüber hinaus wurde die Frage in den Raum gestellt, **ob die in der Gesamtmethodik in die Zukunft gerichteten Bewertungen für den Rückbau relativiert werden sollten**. Beispielsweise sei die Bewertung einer in der Zukunft stattfindenden thermischen Wiederverwertung fraglich. **Künftig sollte nichts mehr verbrannt werden, was Kohlenstoff enthält.**

²⁵ Für den überwiegenden Anteil der Konstruktionen und Bauteilgruppen muss eine einfache Demontierbarkeit bzw. Trennbarkeit der Materialien vorliegen (alle Bauteilschichten sind mechanisch befestigt oder es liegt ein durchgängig mineralischer Aufbau vor, Fensterrahmen ohne verklebten Dämmstoff, Fenstereinbau ohne PU-Schaum) (vgl. Ministère du Logement 2016, S. 52 -53).

7 Kernaussagen

In der letzten Sitzung der Arbeitsgruppe wurden ausgewählte **Kernaussagen** der vorhergehenden Treffen besprochen, kommentiert und Formulierungsvorschläge diskutiert. Folgende Aussagen wurden festgehalten:

1. **Durch die projekt- bzw. maßnahmenspezifische Betrachtung grauer Energie und grauer Emissionen können Potenziale zur Optimierung des Energieeinsatzes und der daraus resultierenden Emissionen im Gebäudelebenszyklus erschlossen werden.** Auch wenn energetische Modernisierungen ökobilanziell in der Regel positiv zu bewerten sind, gilt dies nicht nur für Neubauten, Anbauten, Ausbauten und Umbauten, sondern auch bei Maßnahmen im Bestand.
2. **Im Hinblick auf die Umsetzung von Lebenszyklusbetrachtungen im Gebäudebereich nehmen die öffentliche Hand und die professionelle Immobilienwirtschaft eine wichtige Vorreiterrolle ein.** Private Eigentümerinnen und Eigentümer profitieren von guten Beispielen im Sinne von Musterprojekten und Musterkonzepten sowie daraus resultierenden Erfahrungswerten und „Best Practices“.
3. **Die weitere Etablierung der Vernetzung innerhalb des Stadtkonzerns** unter der Hinzuziehung von weiteren fachkundigen Personen wird als erstrebenswert erachtet.
4. Es werden **passgenaue Informationsangebote für alle Eigentumsarten** (selbstgenutzt, vermietet, privat, institutionell) ebenso wie zur **Vermittlung entsprechender Inhalte in die Politik** benötigt. Dies gilt vor allem für niederschwellige Informationsgrundlagen und Hilfestellungen für Personen ohne vertiefte Fachkenntnisse.
5. Bei extern Beauftragten sind Fachkenntnisse zu Lebenszyklusthemen in sehr unterschiedlichem Maße vorhanden. Wichtig ist deshalb, dass die für Entscheidungen verantwortlichen Personen **die richtigen Fragen stellen**, um alle an der Planung und Umsetzung von Maßnahmen Beteiligten entsprechend zu sensibilisieren.
6. **Relevant sind erste Abschätzungen in den frühen Planungsphasen.** Da die Bilanzierung des Einsatzes der verbauten Materialmengen jedoch gerade in frühen Planungsphasen eine Herausforderung darstellt, **werden hierfür weitere Hilfsmittel, Benchmarks u. Ä. benötigt.**
7. Auch für die genauere Betrachtung wäre es hilfreich, **sich auf ein gemeinsames Verständnis bezüglich der Anwendung von Rechenkonventionen in Darmstadt zu einigen.**
8. Die Kompensation der durch den Bau und den Betrieb von Gebäuden verursachten Treibhausgasemissionen durch Zertifikate spielt bisher so gut wie keine Rolle und wird zudem auch überwiegend kritisch eingeschätzt. **In jedem Fall sollten Emissionen so weit wie möglich vermieden und (Ausgleichs-)Projekte vor Ort durchgeführt werden.**

8 Quellen- Abbildungs- und Tabellenverzeichnisse

8.1 Quellenverzeichnis

- BaylkaBau – Bayerische Ingenieurekammer-Bau (Hrsg.) (2022): Holz als Hoffnungsträger für mehr Klimaschutz im Bausektor. Online: https://www.baylka.de/de/aktuelles/meldungen/2022-09-05_Holz-als-Hoffnungstraeger-fuer-mehr-Klimaschutz.php [20.09.2022]
- Bienert, S.; Hahn, J.; Schulte, S.-M.; Santovito, R. (2017): CO₂-neutral in Stadt und Quartier – die europäische und internationale Perspektive. BBSR-Online-Publikation Nr. 03/2017, Bonn
- BMI - Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (Hrsg.) (2017a): Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) Neubau Unterrichtsgebäude. Bilanzierungsregeln für die Erstellung von Ökobilanzen
- BMI - Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (Hrsg.) (2017b): Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) Unterrichtsgebäude Komplettmodernisierung. Bilanzierungsregeln für die Erstellung von Ökobilanzen
- BMI - Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (Hrsg.) (2019): Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Zukunftsfähiges Planen, Bauen und Betreiben von Gebäuden. Berlin
- BMI - Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (Hrsg.) (2021): Anhang 3.1.1 zur ANLAGE 3. Bilanzierungsregeln des QNG für Wohngebäude, Stand 25.06.2021
- BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2022): Sanierungsanreize und faire Aufteilung: Gesetzentwurf zur Aufteilung der CO₂-Kosten heute im Kabinett beschlossen. Online: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2022/04/20220403-fairness-bei-den-co2-kosten-bmwk-bmwsb-und-bmj-einigen-sich-auf-gerechte-verteilung.html> [01.11.2022]
- BMWSB - Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (Hrsg.) (2022a): Gebäudeanforderungen. Besondere Anforderungen im öffentlichen Interesse an den Beitrag von Gebäuden zur Nachhaltigen Entwicklung. Anlage 3 zum Handbuch des Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude, Stand 12.04.2022
- BMWSB - Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (Hrsg.) (2022b): Anhang 3.2.1.2 zur ANLAGE 3. Regeln zur Bestimmung des Anforderungswertes für QNG Nichtwohngebäude, Stand 19.04.2022
- BMWSB - Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (Hrsg.) (2022c): ANLAGE 1 zum Handbuch des Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude, Stand: 19.04.2022
- Braune, A.; Ruiz Durán, C.; Gantner, J. (2018): Leitfaden zum Einsatz der Ökobilanzierung. Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V., Stuttgart
- Braune, A.; Lemaitre, C.; Geiselmann, D.; Kreißig, J.; Jansen, F.; Gemmingen, U. von (2020): Rahmenwerk für klimaneutrale Gebäude und Standorte. Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V., Stuttgart
- Braune, A.; Ekhvaia, L.; Quante, K. (2021): Benchmarks für die Treibhausgasemissionen der Gebäudekonstruktion. Ergebnisse einer Studie mit 50 Gebäuden. Stuttgart
- Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e. V. (Hrsg.) (2021): Mineralische Bauabfälle. Monitoring 2018. Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2018. Berlin
- Cames, M., Harthan, R.O., Füssler, J., Lazarus, M., Lee, C.M., Erickson, P., Spalding-Fecher, R. (2016): How additional is the Clean Development Mechanism? Analysis of the application of current tools and proposed alternatives. Berlin

- Churkina, G.; Organschi, A.; Reyer, C.P.O.; Ruff, A.; Vinke, K.; Liu, Z.; Reck, B.K.; Graedel, T.E.; Schellnhuber, H.J. (2020): Buildings as a global carbon sink. *Nature Sustainability* 3, 269–276. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0462-4>
- CSR Hub NRW (2017): Workshop: Zukunftsfähige Wertschöpfungskette, Köln, 1. August 2017
- Destatis – Statistisches Bundesamt (2021): Umwelt. Abfallbilanz (Abfallaufkommen/-verbleib, Abfallintensität, Abfallaufkommen nach Wirtschaftszweigen) 2019
- DGNB (Hrsg.) (2018): DGNB System – Kriterienkatalog Gebäude Neubau. ENV1.1 Ökobilanz des Gebäudes
- DGNB (Hrsg.) (2021): DGNB System – Kriterienkatalog Gebäude Sanierung. Version 2021. ENV1.1 Ökobilanz des Gebäudes
- Dodd, N.; Donatello, S.; Cordella, M. (2021a): Level(s) – Ein gemeinsamer EU- Rahmen von Kernindikatoren für die Nachhaltigkeit von Büro- und Wohngebäuden Benutzerhandbuch 2: Aufbau eines Projekts unter Verwendung des gemeinsamen Level(s)- Rahmens (Version 1.1 der Veröffentlichung. JRC Technical Reports. Gemeinsame Forschungsstelle, wissenschaftlicher Dienst der Europäischen Kommission
- Dodd, N.; Donatello, S.; Cordella, M. (2021b): Level(s)-Indikator 1.2: Erderwärmungspotenzial (GWP) entlang des Lebenszyklus. Benutzerhandbuch: Einleitende Informationen, Anleitungen und Leitlinien (Veröffentlichungsversion 1.1). JRC Technical Reports. Gemeinsame Forschungsstelle, wissenschaftlicher Dienst der Europäischen Kommission
- Dunkelberg, E.; Weiß, J. (2016): Ökologische Bewertung energetischer Sanierungsoptionen, Gebäude-Energiewende, Arbeitspapier 4, Berlin
- ee-concept GmbH (2021): SNAP_ Werkzeug zur LCC. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). Online: https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/fileadmin/publikationen/211113_LCC-Tool.xlsx [11.08.2022]
- European Commission (2021): LEVEL(S): A common language for building assessment. Publications Office of the European Union
- Figl, H.; Kusche, O. (2020): ÖKOBAUDAT-Handbuch. Technisch/formale Informationen und Regeln zur ÖKOBAUDAT-Datenbank. Version 1.1. Herausgegeben vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Berlin, Wien, Freiburg
- Fritsche, U. R.; Greß, H.-W. (2021): Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG-Emissionen des deutschen Strommix im Jahr 2020 sowie Ausblicke auf 2030 und 2050 (Kurzstudie). Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien GmbH (IINAS), Darmstadt
- Fuchs, M.; Hartmann, F.; Henrich, J.; Wagner, C.; Zeumer, M. (2013): Systematik für Nachhaltigkeitsanforderungen in Planungswettbewerben. SNAP – Empfehlungen. Herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Berlin
- Fuchs, M.; Görich, K.; Rechert, L.; Tersluisen, A.; Willeke, A.; Zeumer, F. (2021): SNAP Planungs- und Arbeitshilfen. Systematik für Nachhaltigkeitsanforderungen in Planungswettbewerben. Herausgegeben vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). Schriftenreihe Zukunft Bauen: Forschung für die Praxis Band 29, Bonn
- Huckestein, B. (2020): Der Weg zur treibhausgas neutralen Verwaltung. Etappen und Hilfestellungen. Herausgegeben vom Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau
- Ibisch, P.L.; Welle, T.; Blumröder, J. S.; Sommer, J. (2020): Wälder sind Kohlenstoffspeicher. Holzverbrennung ist nicht klimaneutral. Centre for Economics and Ecosystem Management, Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde, Naturwald Akademie, Deutsche Umweltstiftung, Eberswalde/Lübeck/Berlin

- IBU – Institut Bauen und Umwelt e.V (Hrsg.) (2021): Umwelt-Produktdeklaration nach ISO 14025 und EN 15804+A2. EGGER DHF. Fritz EGGER GmbH & Co. OG Holzwerkstoffe, Berlin
- ift Rosenheim GmbH (Hrsg.) (2021): Umweltproduktdeklaration (EPD) Flachglas. Unbeschichtetes Flachglas, Verbundsicherheitsglas und beschichtetes Flachglas. Deklarationsnummer: EPD-GFEV-19.1. Guardian Europe S.à r.l., Rosenheim
- IG Lebenszyklus Hochbau (Hrsg.) (2014): Revitalisierung oder Neubau? In 4 Schritten zu einer fundierten Entscheidung, Wien
- IPCC (2018): Annex I: Glossary [Matthews, J.B.R. (ed.)]. In: Masson-Delmotte, V., P. et al. (eds.), Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty
- KBOB - Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren (2022): Ökobilanzen im Baubereich. Online unter: https://www.kbob.ad-min.ch/kbob/de/home/themen-leistungen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten_baubereich.html [24.11.2022]
- Kristof, K. (2007): Hot Spots und zentrale Ansatzpunkte zur Steigerung der Ressourceneffizienz. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie GmbH, Wuppertal
- Landeshauptstadt München Referat für Klima- und Umweltschutz (2021): Münchner Förderprogramm Energieeinsparung. Richtlinienheft gültig ab 01.04.2019. München
- Lützkendorf, T.; Frischknecht, R. (2020): (Net-) zero-emission buildings: a typology of terms and definitions. Buildings and Cities 1(1), 662–675. <https://doi.org/10.5334/bc.66>
- Lützkendorf, T. (2021): Klimaschutz im Gebäudebereich. Grundlagen, Anforderungen und Nachweismöglichkeiten für klimaneutrale Gebäude – ein Diskussionsbeitrag. BBSR- Online-Publikation Nr. 33/2021, Bonn
- Madaster (Hrsg.) (2021a): Material Passport. Demo. Online: <https://madaster.de/wp-content/uploads/2021/09/Material-Passport-Demogebaeude.pdf> [11.05.2022]
- Madaster (Hrsg.) (2021b): Madaster Benutzerhandbuch. Allgemeines Benutzerhandbuch der Madaster-Plattform
- Mahler, B.; Idler, S.; Nusser, T.; Dr. Gantner, J. (2019): Energieaufwand für verschiedene Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus, Abschlussbericht. Umweltbundesamt TEXTE 132/2019, Dessau-Roßlau
- Matthey, A.; Bünger, B. (2020): Methodenkonvention 3.1 zur Ermittlung von Umweltkosten. Kostensätze. Dessau-Roßlau
- Mielecke, C.; Mielecke, T.; Lützkendorf, T. (2017): Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ - Wissenschaftliche Begleitung der Arbeitsgruppe „Modul D“ des Runden Tisches Nachhaltiges Bauen (Endbericht). Darmstadt/Weimar
- Ministère du Logement (2016): LENOZ 2016. Lëtzebuurger Nohaltegkeets-Zertifizéierung fir Wunnebaier – LENOZ. LENOZ Handbuch. Luxembourg
- Ramseier, L.; Frischknecht, R. (2020): Umweltfußabdruck von Gebäuden in Deutschland. Kurzstudie zu sektorübergreifenden Wirkungen des Handlungsfelds „Errichtung und Nutzung von Hochbauten“ auf Klima und Umwelt. BBSR-Online-Publikation Nr. 17/2020, Bonn
- Rechsteiner, E.; Hertle, H. (2022): Leitfaden Klimaneutrale Kommunalverwaltung Baden-Württemberg. ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen (2022): Nachhaltigkeitsbewertung BNB. Online: https://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/nachhaltiges_bauen/de/nachhaltigkeit/index.shtml [11.05.2022]

- SPD; Bündnis90/Die Grünen; FDP (2021): Mehr Fortschritt wagen. Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. Koalitionsvertrag zwischen SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP
- Stadt Frankfurt am Main Amt für Bau und Immobilien Abteilung Energiemanagement (2021): Gesamtkostenberechnung – Beispiel (Version 20.4). Frankfurt am Main, 2021. Online: <https://energiemanagement.stadt-frankfurt.de/> [20.12.2021]
- Stein, B.; Behr, I.; Bellmer, T. (2022): Graue Energie und graue Emissionen bei der Modernisierung im privat gehaltenen Gebäudebestand. In: Schader-Stiftung (Hrsg.). Nachhaltige Stadtentwicklung. Dokumentation der Schreibwerkstatt „Mollerstadt“ im Projekt Systeminnovation für Nachhaltige Entwicklung (s:ne). Darmstadt, S. 12-14
- Stein, B.; Behr, I.; Bellmer, T. (2023): Graue Energie und graue Emissionen bei der Modernisierung im privat gehaltenen Gebäudebestand. Beitrag zur Langversion der Publikation zur Schreibwerkstatt „Mollerstadt“ im Projekt Systeminnovation für Nachhaltige Entwicklung (s:ne), Manuskript in Vorbereitung; Online ab Frühjahr 2023 unter: <https://www.schader-stiftung.de/themen/nachhaltige-entwicklung/fokus/sne/artikel/dokumentation-der-schreibwerkstatt-mollerstadt>
- Technische Universität Darmstadt (2020-2022): Schaufenster für die urbane Energiewende durch integrierende energieoptimierte Quartiere. Online: <https://delta-darmstadt.de/> [30.11.2022]
- treeze Ltd. (o. D.): Umweltrechner. Online unter: <https://treeze.ch/de/rechner> [01.11.2022]
- Trinius, W.; Sievert, J.; Schmincke, E.; Grootens, F.; Pankow, N.; Untergutsch, A.; Görke, J.; Werner, F.; Lützkendorf, T.; Passer, A.; Bergius, S. (2020): Grundlagen und Empfehlungen zur Beschreibung der Rückbau-, Nachnutzungs- und Entsorgungsphase von Bauprodukten in Umweltproduktdeklarationen. Ein Leitfaden für Bauproduktindustrie und Normungsgremien zur Ausgestaltung der Module C und D in EPD und PCR. Umweltbundesamt TEXTE 129/2020. Dessau-Roßlau
- Umweltbundesamt (2019): UBA-Kurzposition zur Kohlendioxid-Entnahme aus der Atmosphäre – Carbon Dioxide Removal (sogenannte „negative Emissionen“)
- Umweltbundesamt (2021a): Gesellschaftliche Kosten von Umweltbelastungen. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-wirtschaft/gesellschaftliche-kosten-von-umweltbelastungen#internalisierung-von-umweltkosten> [02.06.2022]
- Umweltbundesamt (2021b): Bauabfälle. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/bauabfaelle#verwertung-von-bau-und-abbruchabfallen> [20.05.2022]
- Vereinte Nationen (o. D.): SDG Grafiken auf Deutsch. Online: <https://drive.google.com/drive/folders/19GFktmvW2OAE9FlyQjc7ChPnYyTHN0T?usp=sharing> [12.05.2022]
- Vereinte Nationen (Hrsg.) (2015): Resolution der Generalversammlung, verabschiedet am 25. September 2015. Transformation unserer Welt: Die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung (A/RES/70/1)
- Wallbaum, H.; Kummer, N. (2006): Entwicklung einer Hot Spot-Analyse zur Identifizierung der Ressourcenintensitäten in Produktketten und ihre exemplarische Anwendung. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie GmbH, Wuppertal
- WBCSD/WIR - World Business Council for Sustainable Development; World Resources Institut (Hrsg.) (2004): The Greenhouse Gas Protocol. A Corporate Accounting and Reporting Standard. Revised edition. Conches-Geneva/Washington, DC
- Wissenschaftsstadt Darmstadt (2022): Modernisierungskonvoi 2022. Online: <https://www.darmstadt.de/leben-in-darmstadt/klimaschutz/foerderprogramme-und-beratungsangebote/modernisierungskonvoi> [25.10.2022]
- Wolters, S.; Schaller, S.; Götz, M. (2018): Freiwillige CO₂-Kompensation durch Klimaschutzprojekte. Herausgegeben vom Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau

8.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Gebäudelebenszyklusphasen (eigene Darstellung nach DIN EN 15978:2012-10, S. 21)	3
Abbildung 2:	Anteil des Umweltfußabdrucks von Gebäuden in Deutschland 2014 (eigene Darstellung auf Basis der Daten aus Ramseier/Frischknecht 2020, S. 16)	5
Abbildung 3:	Umweltfußabdruck des Handlungsfelds Errichtung und Nutzung von Hochbauten 2014 (eigene Darstellung auf Basis der Daten aus Ramseier/Frischknecht 2020, S. 1, S. 14)	6
Abbildung 4:	Prozessschritte zur Entscheidungsfindung (eigene Darstellung in Anlehnung an IG Lebenszyklus Hochbau 2014, S. 6)	16
Abbildung 5:	Treibhausgasemissionen (GWP _k) in Abhängigkeit von der Bauweise / Materialität des Tragwerks, n = 50 (eigene Darstellung nach Braune et al. 2021, S. 9; Daten aus Braune et al. 2021, S. 17-19; weitere Angaben: ebd., S. 2-3)	20
Abbildung 6:	Treibhausgasemissionen nach Bauteilen (Mittelwerte Module A1-A3, n = 43 (eigene Darstellung nach Braune et al. 2021, S. 7; weitere Angaben: ebd., S. 3, S. 6)	20
Abbildung 7:	Optimierungspotenziale, Einflussmöglichkeiten und Aufwand von Änderungen im Planungs- und Herstellungsprozess (eigene Darstellung nach Braune et al. 2018, S. 7)	23
Abbildung 8:	Nicht erneuerbarer Primärenergieeinsatz für 1 m ² und 1 mm der Produktgruppe Flachglas (unbeschichtetes Flachglas, Verbundsicherheitsglas, beschichtetes Flachglas); eigene Darstellung auf Basis der Daten aus ift Rosenheim GmbH (2021, S. 15)	38
Abbildung 9:	Treibhauspotenzial für 1 m ² und 1 mm der Produktgruppe Flachglas (unbeschichtetes Flachglas, Verbundsicherheitsglas, beschichtetes Flachglas); eigene Darstellung auf Basis der Daten aus ift Rosenheim GmbH (2021, S. 15)	38
Abbildung 10:	Nicht erneuerbarer Primärenergieeinsatz für 1 m ³ kunsthartzgebundene mitteldichte Holzfaserplatte; eigene Darstellung auf Basis der Daten aus IBU (2021, S. 8)	39
Abbildung 11:	Treibhauspotenzial für 1 m ³ kunsthartzgebundene mitteldichte Holzfaserplatte; eigene Darstellung auf Basis der Daten aus IBU (2021, S. 8)	39
Abbildung 12:	Abfallaufkommen in Deutschland 2018 nach Art des Abfalls, eigene Darstellung auf Basis von Daten aus Destatis (2021, S. 30)	40
Abbildung 13:	Statistisch erfasste mineralische Bauabfälle 2018, eigene Darstellung auf Basis von Daten aus Bundesverband Baustoffe - Steine und Erden e.V. (2021, S. 6)	41

8.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht über die Sitzungstermine, inhaltliche Schwerpunkte und (Impuls-)Beiträge 2
Tabelle 2:	Im Zusammenhang mit der Betrachtung grauer Energie und grauer Emissionen relevante Nachhaltigkeitsziele und Unterziele (Bildquelle: Vereinte Nationen o. D.; Textquelle: Vereinte Nationen 2015) 10
Tabelle 3	Level(s)-Checkliste zu relevanten Planungskonzepten (Quelle: Dodd et al. 2021b, S. 10-11; Hervorhebungen nicht im Original vorhanden) 18
Tabelle 4	Berichtsformat zur Level(s)-Checkliste (Quelle: Dodd et al. 2021b, S. 11-12) 19
Tabelle 5:	Beispielhafte Bewertung nach der Höhe des Verbrauchs von Ressourcen und Energie bezogen auf die einzelne Lebenszyklusphase – Wertschöpfungskette Wohngebäude (eigene Darstellung basierend auf Wallbaum/Kummer 2006, S. 35-36)..... 21
Tabelle 6:	Beispielhafte Bestimmung von Lebenszyklusgewichtungsfaktoren durch die Betrachtung der relativen Relevanz der Phasen zueinander – Wertschöpfungskette Wohngebäude (eigene Darstellung basierend auf Wallbaum/Kummer 2006, S. 35-36) 21
Tabelle 7:	Beispielhafte Identifizierung der Hot Spots – Wertschöpfungskette Wohngebäude (eigene Darstellung basierend auf Wallbaum/Kummer 2006, S. 35)..... 22