

**Teilbericht für das Projekt LezBAU:
Lebenszyklus-Bilanzierung in frühen Bauplanungsphasen
zur Analyse von Umweltauswirkungen**
Forschungsinitiative Energieoptimiertes Bauen (EnOB)

Arbeitspapier: Stand 17.01.2025

Systemgrenzen im Fokus:
Gebäudekomponenten, Lebenszyklusphasen und ihre Relevanz in der frühen Planung

Darmstadt, 17.01.2025

Bei diesem Bericht handelt es sich um einen Arbeitstand im Projekt EnOB:LezBAU. Im Laufe des Weiteren Projektfortschritts kann es noch zu einzelnen Änderungen der Systemgrenzen kommen. Bitte prüfen Sie, ob es eine aktuellere Version dieses Berichtes gibt.

Updates zu allen Belangen des LezBAU Projektes finden sich unter www.lezbau.de

Autoren: Guillaume Behem, Julian Bischof, Patricia Winkler, André Müller



Forschungsbeteiligte



Projektdaten
Konsortium

Fördermittelgeber:

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Fkz. 03EN1074A
Laufzeit: Januar 2023 bis
Dezember 2025
Ansprechpartner:
Julian Bischof
+49 6151 / 2904-48
j.bischof@iwu.de

**Projektmitarbeiter -
Institut Wohnen und
Umwelt GmbH:** Julian
Bischof, Marc Großklos,
Jonas Schönefeld, André
Müller, Guillaume Behem,
Jens Calisti, Stefan
Swiderek.

**Frankfurt University of
Applied Sciences:** Volker
Ritter, Novak Kostic,
Patricia Winkler.

**Deutsche Umwelthilfe
e.V.:** Paula Brandmeyer,
Dora Griechisch, Jurga
Tallat-Kelpsaite.

Arge B.A.U.: Günther
Ludewig, Regine Bühler,
Gesine Stöcker, Hartmut
Scherer, Alexander Böhm,
Klaus-Peter Ruland

Danksagung

Das LezBAU-Projektteam möchte sich herzlich bei Prof. Dr. Thomas Lützkendorf bedanken, der uns mit wertvollen Impulsen und Hinweisen bei der Entwicklung der LezBAU Systemgrenzen unterstützt hat. Seine Expertise und Anregungen haben maßgeblich dazu beigetragen, unser Verständnis zu erweitern und das Projekt voranzubringen.

Inhalt

Abkürzungen	4
Einleitung	5
1. Relevanz der Definition von Systemgrenzen	5
2. Systemgrenzen in internationalen und deutschen Kontext	7
a. Systemgrenzen im internationalen Kontext	7
b. Systemgrenzen im deutschen Zertifizierungssystem QNG	8
3. Relevanz der Lebenszyklusphasen und Vorschlag von Bilanzgrenzen	10
A0 – Planungsphase	11
A1-A3 – Herstellungsphase	11
A4 – Transport vom Werkstor zur Baustelle	11
A5 – Errichtung.....	12
B1 – Nutzung.....	13
B2-B3 – Instandhaltung und Instandsetzung	16
B4 – Austausch.....	16
B5 – Modernisierungen.....	18
B6 – Energieeinsatz für den Betrieb.....	18
B7 – Wassereinsatz für den Betrieb	19
B8 – Nutzeraktivitäten	19
C1 – Rückbau.....	19
C2 – Transport von der Baustelle zum Entsorgungsort.....	20
C3-C4 – Abfallaufbereitung und Abfallentsorgung	20
D1-D2 – Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenze.....	20
Zwischenfazit – Berücksichtigten Lebenszyklusphasen	21
4. Relevanz von Bauteilen und Anlagentechnik.....	22
a. Beitrag individueller Bauteile und Anlagentechnik-Komponenten an der Gesamtbilanz	22
b. Relevanz von TGA-Komponenten	25
c. Relevanz von Bauteilen	26
d. Beschreibung des Vorgehens bei der Berücksichtigung der TGA	27
e. Zwischenfazit - Vorschlag für die Berücksichtigung von Bauteilen und TGA	32
5. Weiteren Randbedingungen.....	33
Fazit.....	36
Literatur	37
Anhang 1 – Vergleich internationalen Systemgrenzen	39
Anhang 2 – Auswertung der CarbEnMats-Datenbank	42

Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
ADPe	Abiotischen Abbau erneuerbarer Ressourcen
ADPf	Abiotischen Abbau fossiler Ressourcen
AP	Versauerungspotenzial
BGF	Brutto-Grundfläche
EFH	Einfamilienhaus
EP	Eutrophierungspotenzial
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GWP	Globales Treibhauspotenzial
KG	Kostengruppe
LC	Lebenszyklus
LCA	Lebenszyklusanalyse
MFH	Mehrfamilienhaus
NRF	Netto-Raumfläche
ODP	Abbaupotenzial stratosphärischen Ozons
PE	Primärenergie
POCP	Bodennahes Ozonbildungspotenzial
PV	Photovoltaik
QNG	Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
THG	Treibhausgasen
THGE	Treibhausgasemissionen

Einleitung

Das Projekt LezBAU (Lebenszyklus-Bilanzierung in frühen Bauplanungsphasen zur Analyse von Umweltauswirkungen) zielt darauf ab, ein benutzerfreundliches Berechnungstool zu entwickeln, das es den Nutzenden ermöglicht, in frühen Planungsphasen von Gebäuden eine Ökobilanzierung (auch Life-Cycle-Assessment – LCA - genannt) durchzuführen. Das Tool soll sowohl für Wohn- als auch für Nichtwohngebäude anwendbar sein und sowohl Neubauten als auch energetische Sanierungsmaßnahmen im Bestand abbilden. Die LCA ist ein entscheidendes Werkzeug, um die Umweltauswirkungen eines Gebäudes über seinen gesamten Lebenszyklus zu bewerten und so die Einhaltung der Klimaschutzziele sicherzustellen.

Im Rahmen des Projekts wurde eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt, um die wichtigsten methodischen Grundlagen der Gebäude-LCA zu klären. Ziel war es, die relevanten Systemgrenzen, Lebenszyklusphasen und Gebäudekomponenten zu identifizieren, die in einer frühen Planungsphase berücksichtigt werden sollten. Diese Untersuchung soll einen Überblick über aktuellen nationalen und internationalen Ansätzen bieten und Empfehlungen formulieren, die in das LezBAU-Tool einfließen sollen.

Das Konzept der Systemgrenzen spielt dabei eine zentrale Rolle, da es definiert, welche Bauteile und Lebenszyklusphasen in die Bilanzierung einbezogen werden müssen, um die gesamten Umweltauswirkungen eines Gebäudes präzise zu bewerten, sowie welchen Randbedingungen betrachtet werden. Unterschiedliche internationale Standards und Zertifizierungssysteme, wie das deutsche QNG-System, bieten bereits diverse Ansätze, doch es gibt nach wie vor Unterschiede in der Berücksichtigung bestimmter Phasen und Komponenten. Die Untersuchung widmet sich diesen Unterschieden und stellt dar, welche Aspekte in der Gebäude-LCA für den deutschen Kontext und im Rahmen des LezBAU-Projekts besonders relevant sind.

1. Relevanz der Definition von Systemgrenzen

Um die Klimaziele zu erreichen, ist es notwendig, die Treibhausgasemissionen (THGE) sowohl im Betrieb als auch über den gesamten Lebenszyklus zu reduzieren. Mit steigenden Effizienzstandards wird die Bedeutung der grauen Emissionen immer größer. In

Abbildung 1 wird auf Basis einer statistischen Auswertung von über 200 EU-Neubauten gezeigt, wie groß die Anteile der betriebsbedingten und grauen THGE in Abhängigkeit vom Effizienzstandard sind. Man erkennt, dass je effizienter die Gebäude sind, desto höher der Anteil an grauen Emissionen, der dann im Bereich von 40% bis 50% der gesamten THGE liegt. Um die Klimaschutzziele zu erreichen, wurden in verschiedene Studien ([1], [2]) und in der Norm SIA 2040 [3] THGE-Grenzwerte im deutschen, österreichischen und schweizerischen Kontext vorgeschlagen. Diese liegen bei Wohngebäuden zwischen 11 und 12,5 kg CO₂eq/m² bei einem Klimaschutzziel von 2t CO₂eq/Person und zwischen 5,5 und 6,25 kg CO₂eq/m² bei einem Klimaschutzziel von 1t CO₂eq/Person. Um diese Ziele zu erreichen, müssten also die THGE sogar noch geringer sein als in

Abbildung 1 beim höchsten Effizienzstandard dargestellt. Im Hinblick auf diese Ziele ist es notwendig, die grauen Emissionen genau zu betrachten, um sie weiter zu reduzieren.

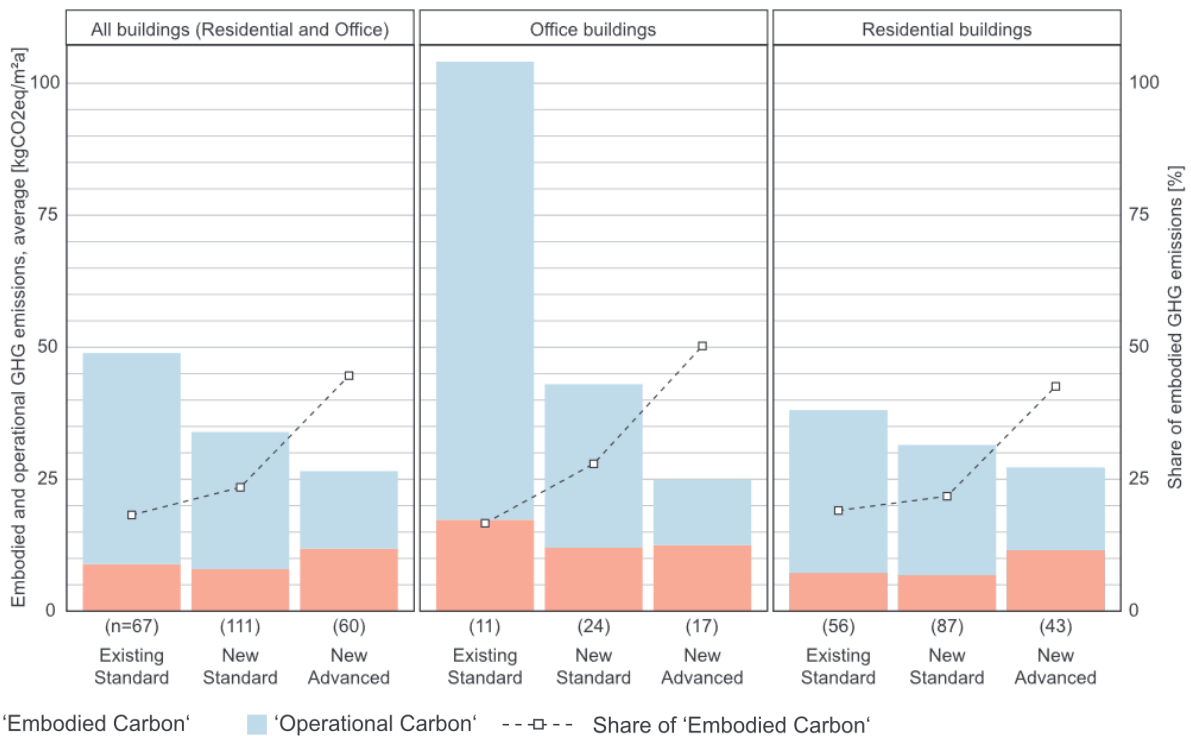


Abbildung 1: Verhältnis von nutzungsbedingten (in Blau) und grauen (in Rot) THGE auf Basis einer statistischen Stichprobe von EU-Gebäuden aus Röck et al. [4]

Ein Gebäude ist ein komplexes System, das aus Großkomponenten (Dach, Außenwände usw.) bis hin zu Kleinstelelementen (Schrauben, Türklinken usw.) besteht. Außerdem besteht sein Lebenszyklus aus mehreren Phasen, von der Extraktion von Rohmaterialien bis zu dem Abbau des Gebäudes. Deshalb muss bei einer Ökobilanz der Detaillierungsgrad der Erfassung klar definiert werden, um eine Ausgewogenheit zwischen Genauigkeit und Erfassungsaufwand zu finden. Bei LCA-Berechnungen sollen die Systemgrenzen außerdem im Voraus so definiert werden, dass die Vielfalt von Gebäuden (Wohn- und Nichtwohngebäude, Neubau und Sanierung) sowie Bauweisen (z.B. Massiv- und Leichtbau) abgebildet werden können. Zur Definition der Systemgrenzen werden folgende Fragestellungen untersucht:

- Welche Lebenszyklusphasen (LC-Phasen) sind für die Gesamtumweltauswirkungen¹ des Gebäudes auf Klima und Umwelt relevant und müssen daher abgebildet werden?
- Welche Bauteile und Komponenten der Anlagentechnik sind für die Gesamtauswirkungen des Gebäudes relevant und müssen daher abgebildet werden?
- Welche weiteren Randbedingungen sind bei den Berechnungen zu berücksichtigen (Umweltindikatoren, Betrachtungszeitraum, etc.)?

Die Lebenszyklusphasen von Interesse im Rahmen dieser Untersuchung stammen aus der Norm DIN EN 15643 und werden in Abbildung 2 dargestellt.

¹ Im Rahmen der Literaturlauswertung wurde versucht für Lebenszyklusphasen und Komponenten deren Einfluss auf das Ökobilanzergebnis, d. h. die Beschreibung der Auswirkungen auf Umwelt und Klima, in den Wirkungskategorien gemäß EN 15804 (z.B. Primärenergieeinsatz (PE), globales Treibhauspotenzial (GWP), Abbaupotenzial stratosphärischen Ozons (ODP), Eutrophierungspotenzial (EP), Versauerungspotenzial (AP), ...) zu erfassen. Hierbei zeigte sich, dass jedoch nicht immer Ergebnisse auch für die Vielzahl an Indikatoren verfügbar sind.

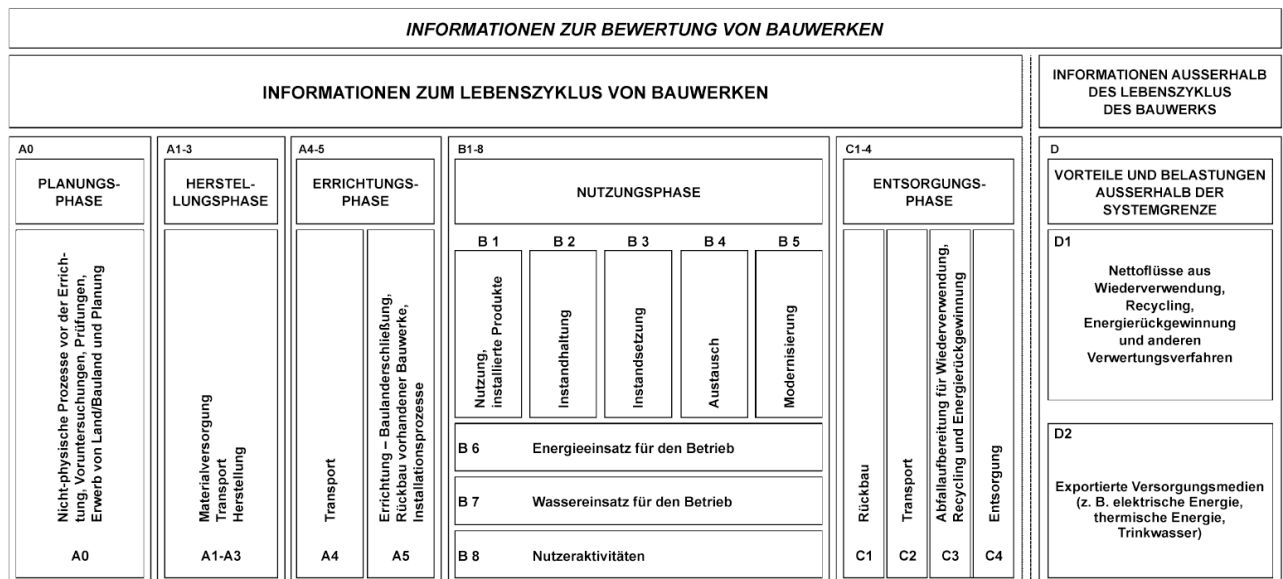


Abbildung 2: Lebenszyklusphasen und Informationsmodule nach DIN EN 15643

Für eine umfangreiche Untersuchung der verschiedenen Bauteile und Anlagentechnik-Komponenten, bezieht sich dieser Untersuchung auf die Kostengruppen (KG) der Norm DIN 276.

2. Systemgrenzen in internationalen und deutschen Kontext

a. Systemgrenzen im internationalen Kontext

In eine Studie von Astle et al. [5] wurden die Systemgrenzen der Gebäude-LCA aus verschiedenen Ländern weltweit untersucht und verglichen. Die in den jeweiligen internationalen Methoden berücksichtigten Gebäudekomponenten, Lebenszyklusphasen und Umweltwirkungsindikatoren, sind im Anhang 1 dargestellt. Dieser Vergleich zeigt einerseits Gemeinsamkeiten. Zum Beispiel werden die Phasen A1-A3, B4, B6, sowie C3-C4 fast immer berücksichtigt. Ebenso werden die meisten Hauptbauteile und die THGE immer berücksichtigt und berechnet, oft zusammen mit den Standard-Indikatoren ODP, POCP, AP, EP, ADPe und ADPf. Andererseits fallen sehr viele Unterschiede zwischen den Bilanzierungssysteme auf. Zum Beispiel berücksichtigen ungefähr die Hälfte der untersuchten Länder die Phasen B1-B3 und C1-C2, die andere Hälfte nicht. Außerdem werden A4-A5 sowie D nicht immer mitberücksichtigt. Innenausführungen, Baugrubenaushub sowie Anlagentechnik werden teilweise nicht betrachtet. Diese deutlichen Unterschiede zeigen, dass es noch kein internationaler Konsens in Bezug auf die Definition der Systemgrenzen besteht. Um die Auswirkungen unterschiedlicher Systemgrenzen besser zu verstehen, haben Frischknecht et al. [6] exemplarisch ein Beispielgebäude nach verschiedenen Ökobilanzierungsmethoden aus unterschiedlichen Ländern bilanziert. Die Ergebnisse sind in

Abbildung 3 dargestellt.

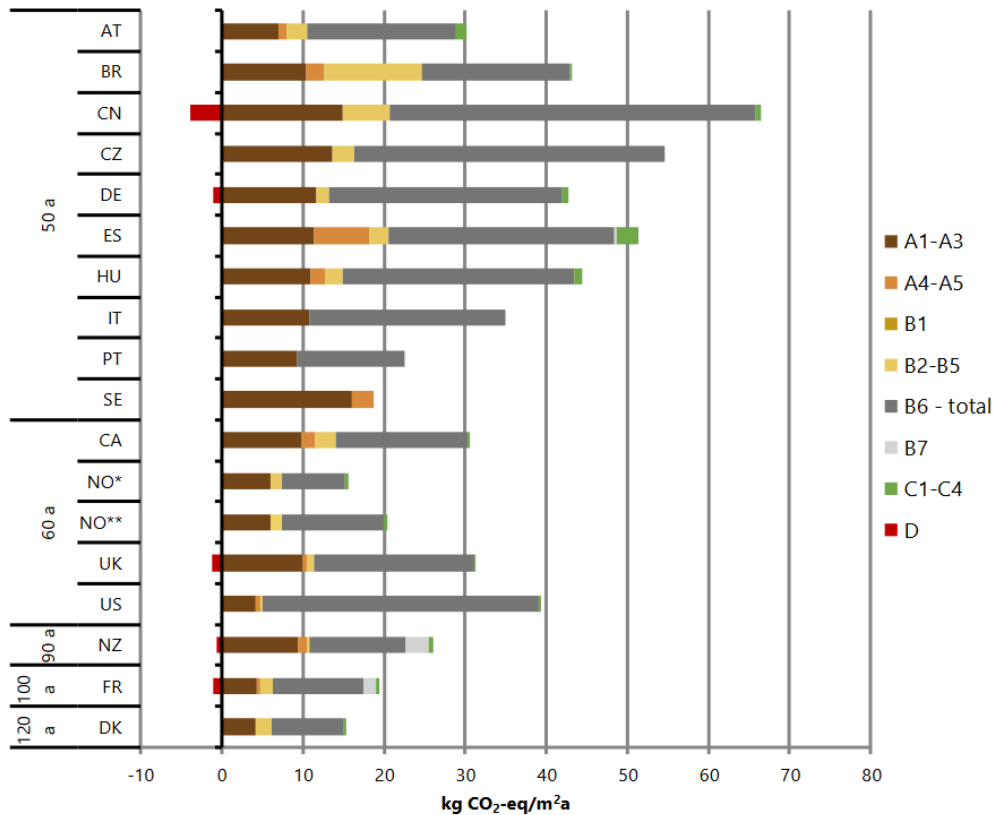


Abbildung 3: THGE eines Referenzgebäudes in $\text{kgCO}_2\text{-Äq}$, bilanziert nach den Berechnungsmethodiken der aufgelisteten Länder, unter Verwendung der links dargestellten Referenzperiode (NO*: Norwegischer Strommix, NO**: Strommix aus Norwegen + EU28)**, Darstellung aus Frischknecht et al. [6]

Es wird deutlich, dass je nach Methodik unterschiedliche Phasen berücksichtigt bzw. vernachlässigt werden. Die berechneten Umweltauswirkungen können dabei signifikant voneinander abweichen, je nachdem, welcher Ansatz verfolgt wird. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit, bei der Berechnung der Ökobilanz klare Systemgrenzen zu definieren und diese so transparent wie möglich darzustellen.

b. Systemgrenzen im deutschen Zertifizierungssystem QNG

Die Systemgrenzen der QNG-Methodik sind klar definiert, um die Umweltauswirkungen eines Neubaus während seines gesamten Lebenszyklus zu bewerten². Die Systemgrenzen der DGNB-Methodik lehnen sich an die der QNG-Methodik an. Diese Grenzen legen fest, welche Bauwerksteile, Phasen und Prozesse in die Bilanzierung einfließen. Sie orientieren sich an den Vorgaben der DIN EN 15643 und beinhalten spezifische Module, die unterschiedliche Phasen des Lebenszyklus eines Gebäudes abdecken. Der Betrachtungszeitraum für die Bilanzierung beträgt standardmäßig 50 Jahre [7].

Bauteile und Anlagentechnik

Die Systemgrenzen der QNG-Methodik erfassen alle wesentlichen Bauwerksteile eines Gebäudes, die zur Stabilität und Nutzung des Gebäudes beitragen. Die Kategorisierung der DIN 276 in Kostengruppen (KG) wird hier übernommen. Zu den **Bauteilen**, die vollständig bilanziert werden, gehören:

² Die regelmäßig aktualisierten Rechenregeln sind auf der QNG-Webseite zu finden (Stand September 2024): <https://www.qng.info/qng/qng-anforderungen/qng-siegeldokumente/>

- **Gründung** (KG 320): Dazu zählen Fundamente und Bodenplatten, die das Gebäude auf dem Untergrund stützen, einschließlich Dämmmaterialien.
- **Außenwände** (KG 330): Alle tragenden und nichttragenden Außenwände werden erfasst, einschließlich Fassadenelemente und Dämmmaterialien.
- **Innenwände** (KG 340): Sowohl tragende als auch nichttragende Innenwände, die das Gebäude unterteilen und stabilisieren.
- **Decken** (KG 350): Decken, die verschiedene Geschosse voneinander trennen und die Last des Gebäudes tragen.
- **Dächer** (KG 360): Alle Dachkonstruktionen, einschließlich der Dachhaut und Dämmmaterialien.

Diese Bauteile werden im Rahmen der Systemgrenzen umfassend bilanziert. Dabei werden sowohl die Materialien als auch deren Herstellungs- und Entsorgungsprozesse berücksichtigt [8].

Die **technische Gebäudeausrüstung** (TGA) wird im QNG-System in zwei Schritten bilanziert:

- Pauschale Erfassung über Sockelbeträge: Bestimmte Komponenten der TGA werden über standardisierte Sockelbeträge bilanziert. Die Anlagen, die durch diese Sockelbeträge erfasst werden, umfassen:
 - **Steig- und Fallrohrleitungen, Anschlussleitungen für Wohnungen und alle Sanitärobjekte** (KG 410),
 - **Rohrleitungen, Verteiler für Raumheizflächen, Raumheizflächen** (KG 420),
 - **Rohrleitungen, Verteiler, Anschlussleitungen Lüftung** (KG 430),
 - **Niederspannungshauptverteiler, Kabel, Leitungen, Unterverteiler** (KG 440),
 - **Leerrohre, Kabel, Leitungen, Personenrufanlagen, Lichtruf- und Klingelanlagen, Türsprech- und Türöffneranlagen** (KG 450)

Diese QNG-Sockelbeträge variieren je nach energetischem Standard des Gebäudes und geben den Primärenergieaufwand und das Treibhauspotenzial für diese standardmäßig erfassten Elemente an. Die Ergebnisse werden pro Quadratmeter Netto-Raumfläche (NRF) berechnet.

- Einzelerfassung von nicht pauschal erfassten Anlagenteilen: Komponenten, die nicht durch den Sockelbetrag abgedeckt sind, werden einzeln bilanziert. Dazu zählen z.B. Wärmeerzeugungsanlagen, Lüftungsanlagen oder Photovoltaiksysteme. Die Bilanzierung dieser Anlagen erfolgt nach spezifischen Datensätzen (z.B. aus der Tabelle „Ökobilanzierung – Rechenwerte 2023“, die auf der QNG-Webseite zu finden ist: <https://www.qng.info/qng/qng-anforderungen/qng-siegeldokumente/>).

Abschneidekriterien

Die QNG-Abschneidekriterien dienen dazu, den Aufwand der Bilanzierung zu reduzieren, indem weniger relevante Materialien und Prozesse unberücksichtigt bleiben. Diese Kriterien legen fest, welche Materialien oder Prozesse in die Bilanz aufgenommen werden müssen:

- **Mengenmäßige Abschneidung:** Alle Baumaterialien mit einem Anteil größer 1 % an der gesamten Masse des Gebäudes oder größer 1 % des PEne des entsprechenden Materials oder größer 1 % der THGE müssen berücksichtigt werden.
- **Summierte Vernachlässigung:** Die Summe der vernachlässigten Materialien darf insgesamt 5% der gesamten Gebäudemasse, des PEne oder der THGE nicht überschreiten. Dies bedeutet, dass nur ein geringer Teil des Gebäudes aufgrund geringer Umweltauswirkungen von der Bilanzierung ausgeschlossen werden darf.
- **Kleinstteile:** Kleinteile wie Nägel, Schrauben oder Dübel sowie produktspezifische Kleinstmengen (bis zu 1 kg) können unberücksichtigt bleiben, da ihr Beitrag zur Gesamtbilanz vernachlässigbar ist.

Lebenszyklusphasen

Die berücksichtigten Phasen sind auf Tabelle 1 zu finden, differenziert zwischen Wohn- und Nichtwohngebäuden³. Hauptunterschied zwischen diesen ist, dass die Phase B6.2 (nicht normativ geregelten Energieaufwands, nämlich Aufzüge und zentrale Dienste) bei Nichtwohngebäuden im QNG-System berücksichtigt wird, und dass die Phase B6.3

³ Dabei wurde der Darstellungsvorschlag von Lützkendorf et al. [9] übernommen.

(nutzungsbezogenen Energieaufwand) abhängig vom Gebäudetyp und dessen Nutzung ist. Bestimmte Prozesse werden aus der QNG-Bilanzierung ausgeklammert, darunter der Transport zur Baustelle und Baustellenprozesse (A4 und A5), sowie die direkten Emissionen von Klimagasen (diese, etwa aus Kältemitteln, werden ebenfalls nicht bilanziert, da davon ausgegangen wird, dass diese durch die Verwendung von klimafreundlichen Kältemitteln minimiert werden).

Tabelle 1: Berücksichtigten Lebenszyklusphasen in der QNG-Methodik

Phasen	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6.1	B6.2	B6.3	B7	B8	C1	C2	C3	C4	D1	D2
QNG Wohngebäude	x	x	x			v			x		x		p					x	x	(x)	(x)
QNG Nichtwohngebäude	x	x	x			v			x		x	p	p					x	x	(x)	(x)

Legende:
 x: detaillierte Ermittlung
 (x): Zusatzangabe
 p: Pauschale
 v: Verbot

3. Relevanz der Lebenszyklusphasen und Vorschlag von Bilanzgrenzen

Die Relevanz der verschiedenen LC-Phasen wurde bereits in verschiedenen Literaturrecherchen zusammengetragen. Röck et al. [10] haben eine Stichprobe von 769 Gebäuden analysiert und die Beiträge der LC-Phasen unterschieden (siehe

Abbildung 4). Dabei wurden lediglich die grauen Aufwendungen ohne die betriebsbedingten Emissionen berücksichtigt. Sie haben festgestellt, dass die Phasen A1-A3, B1-B4 von hoher Relevanz sind, während A4-A5 und C1-C2 eine geringere Bedeutung haben. Wenn man die Ausreißer ausblendet, haben die Phasen C3 und C4 ebenso eine geringere Bedeutung. Allerdings zeigen mehrere dieser Ausreißer, dass je nach Gebäude diese Phasen genauso relevant sein können wie die Herstellungsphase.

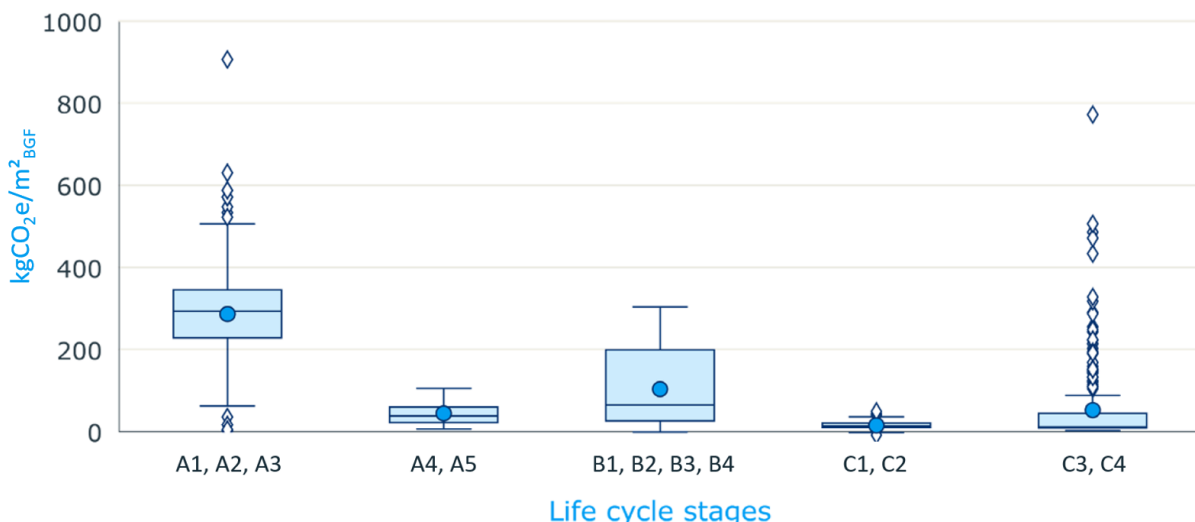


Abbildung 4: Statistische Verteilung der spezifischen grauen Emissionen in einer Stichprobe von 769 europäischen Wohn- und Nichtwohngebäuden - Abbildung aus Röck et al. [10]

Neben dieser statistischen Untersuchung finden sich in der internationalen Literatur Lebenszyklusanalysen einzelner Gebäude. In Tabelle 2 wurden exemplarisch vier Fallstudien ausgewertet. Dabei wurde mit farbigen Kästchen angezeigt, welche LC-Phasen in der jeweiligen Studie berücksichtigt wurden, sowie der prozentuale Anteil dieser Phasen an den gesamten THGE des Gebäudes. Auf Basis dieser Beispiele wird deutlich, dass, obwohl alle die Herstellungsphasen und Phase B6 berücksichtigen, die Systemgrenzen sehr unterschiedlich sind. Außerdem ist die prozentuale

Bedeutung bestimmter Phasen davon abhängig, welche LC-Phasen überhaupt berücksichtigt werden. Wenn eine Phase vernachlässigt oder ignoriert wird, steigen automatisch die prozentualen Anteile der anderen Phasen, was diesen eine höhere Bedeutung verleiht. Welche Bedeutung die oft vernachlässigten Phasen auf die Endergebnisse haben, wird in Kapitel 3 genauer untersucht.

Tabelle 2: Beitrag der einzelnen LC-Phasen zu den Gesamtemissionen (GWP) – Literaturwerte [10], [11], [12], [13], [14], [15]

Quellen	Hintergrund	Lebenszyklusphasen gemäß DIN EN 15643																				
		A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6			B7	B8	C1	C2	C3	C4	D1	D2
												B6.1	B6.2	B6.3								
Fallstudien																						
Delem et al.	Neubau Bürogebäude Passivhaus	43%		1%	4%				12%			24%	<1%						6%			
Maierhofer et al.	Neubau Universitätsgebäude	10%		<1%	<1%				6%			67%	1%	14%	<1%				<1%	1%		
Blengini et al.	Niedrigenergiehaus	42%		2%	2%			11%				43%										
Paleari et al.	Mehrfamilienhaus	53%		3%	5%				6%			29%						3%				
Durchschnittswerte aus einer Stichprobe von 769 Gebäuden																						
Röck et al.	Wohn- und Nichtwohngebäuden, EU-Weit	56%			7%				22%										4%	11%		

In den folgenden Kapiteln wird ein Überblick über die einzelnen LC-Phasen gegeben, um deren Bedeutung und Einfluss auf die Ergebnisse besser zu erfassen. Basierend darauf werden Vorschläge formuliert, mit welchem Grad an Vereinfachung die Phasen im Rahmen einer Gebäude-LCA für das LezBAU-Projekt berücksichtigt werden könnten:

- Phasen, die in den meisten Fällen signifikante Einflüsse auf das Gesamtergebnis haben, werden detailliert anhand eine Sachbilanz berechnet.
- Phasen, die nur in Einzelfällen signifikante Einflüsse auf das Gesamtergebnis haben (und sonst geringere Einflüsse), werden vereinfacht anhand Pauschalwerte berechnet.
- Phasen, die die Ergebnisse kaum beeinflussen, werden vernachlässigt.

A0 – Planungsphase

Diese Phase umfasst nicht-physische Prozesse vor der eigentlichen Errichtung eines Gebäudes, wie beispielsweise Voruntersuchungen, Prüfungen und den Erwerb des Baugrundstücks. Während die Phase A0 für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Bedeutung ist, werden diese Prozesse im Rahmen der LCA nicht berücksichtigt.

➔ **Vorschlag: Die Phase A0 kann vernachlässigt werden.**

A1-A3 – Herstellungsphase

In der Regel können die Phasen A1 (Materialgewinnung), A2 (Transport) und A3 (Herstellung) zusammengefasst berücksichtigt werden [9]. Der Anteil der Herstellungsphase an den grauen Gesamtemissionen ist gemeinhin als hoch relevant anerkannt, wie in

Abbildung 4 dargestellt. und sollte daher detailliert berücksichtigt werden.

➔ **Vorschlag: Die Phasen A1 bis A3 sollen detailliert berücksichtigt werden.**

Empfehlungen für die Berechnung der Herstellungsphase (A1-A3):

Die Berücksichtigung sollte über eine detaillierte Sachbilanz erfolgen, in dem die Materialmengen ermittelt, und mit entsprechenden Umweltwirkungsindikatoren multipliziert werden.

A4 – Transport vom Werkstor zur Baustelle

Die Transportphase A4 behandelt die Umweltauswirkungen, die durch den Transport von Baukomponenten von der Produktionsstätte zur Baustelle entstehen. Die Transportphase wird typischerweise durch verschiedene Parameter charakterisiert: Transportmittel (z. B. Lkw, Bahn, Schiff), Transportentfernung, sowie die Berücksichtigung

von Beladungsgrad und Rückfahrten. Für unterschiedliche Transportmittel stehen LCI-Daten, zumindest in Form von Emissionsfaktoren, gewöhnlich für den Gütertransport in Tonnenkilometern (t km) zur Verfügung.

In unterschiedlichen Nachhaltigkeitsstandards wie QNG [16], DGNB [17] oder SIA 2032 wird der Transport zwischen Produktionsstandort und Baustelle nicht berücksichtigt, da er nur einen geringen Anteil an den Gesamtemissionen eines typischen Neubaus hat. Dieser Fakt wird auch in

Abbildung 4 und Tabelle 2 deutlich. Laut Weißenberger [15] tragen diese A4 Emissionen zwischen 3% und 6% zum Gesamtemissionswert bei.

Allerdings ist es wahrscheinlich, dass die Bedeutung dieser Phase bei hocheffizienten Neubauten an Relevanz gewinnt. Das zeigt sich beispielsweise in den Studien von Wiik et al. [18] und Fufa et al [19], in welcher die Emissionen der Phasen A4 und A5 bei zwei sehr ambitionierte Gebäuden, mit dem Ziel eine CO₂-freie Baustelle zu erreichen, gerechnet wurden. Die ermittelten Emissionen, die aufgrund des Transports von Baumaterialien entstanden, erreichten Werte von 0,3 und 0,55 kgCO₂eq/m²a für die zwei Gebäude (Hochschule und Schulgebäude), mit eine 60-Jahre Betrachtungszeitraum. Bei einer üblicheren Betrachtungszeitraum von 50 Jahren, würde es 0,36 und 0,66 kgCO₂eq/m²a entsprechen. Beim Hochschulgebäude trägt die Phase A4 zu 3% der Gesamtemissionen bei. Um diese Zahlen in Perspektiv zu bringen kann man sich außerdem auf bestehende Emissions-Benchmarks beziehen. Um das Ziel, die Emissionen auf 2t pro Person zu reduzieren, schlägt die SIA 2040:2017 Korrigenda C1, dass die Lebenszyklusemissionen von Schulgebäuden 11 kgCO₂eq/m²a nicht überschreiten sollen. Beim ambitionierten Ziel einer Reduktion auf 1t pro Person würde sich dieser Wert halbieren auf 5,5 kgCO₂eq/m²a. In Bezug auf diesen Zielwert würde die Phase A4 aus der Studie von Fufa et al. 5 % bzw. 10 % der gesamten Lebenszyklus-Emissionen für die zwei untersuchten Gebäude ausmachen.

Obwohl der Anteil der Phase A4 an den gesamten Emissionen klein ist, scheint er dennoch nicht vernachlässigbar zu sein, vor allem bei hochambitionierten Neubauten. Aufgrund des hohen Aufwands, der mit einer detaillierten Erfassung transportbedingter Emissionen verbunden ist und der Schwierigkeit besonders in der frühen Planungsphase (also vor einer Ausschreibung) die Transportwege zu kennen, wird vorgeschlagen, diese Phase vereinfacht zu betrachten.

→ **Vorschlag: Die Phase A4 soll vereinfacht berücksichtigt werden.**

Empfehlungen für die Berechnung der Transportphase A4:

Lützkendorf et al. [7] empfehlen für die frühe Planungsphase entweder die Verwendung von generischen Werten oder eine vereinfachte Modellierung. Generische Werte können absolute Standardzuschläge (wie z. B. 10,2 kgCO₂eq/m² in der finnischen LCA-Methodik) oder relative Zuschläge (z. B. A4 = 5 % von A1-A3) sein. Alternativ kann eine bestimmte Distanz und ein bestimmtes Transportmittel für alle Gebäudekomponenten angenommen werden (300 km wird als EU-Richtwert im EeBGuide vorgeschlagen [20]). Die vereinfachte Modellierung würde detaillierter vorgehen und verschiedene Transportszenarien (Distanzen und Transportmittel) für unterschiedliche Kategorien von Baukomponenten unterscheiden. Im Rahmen von LezBAU für eine Anwendung in frühen Planungsphasen erscheint es sinnvoller, mit generischen Werten zu arbeiten und gegebenenfalls zwischen lokal beschafften Baustoffen und solchen, die aus größerer Entfernung kommen, zu differenzieren.

A5 – Errichtung

Die Phase A5 umfasst die Erschließung des Baugrunds, den Rückbau vorhandener Gebäude, die Baustelleneinrichtung und Installation von Bauteilen bzw. Komponenten. Diese Phase wird von Zertifizierungssystemen wie DGNB und QNG vernachlässigt, da deren Beitrag als vernachlässigbar geschätzt wird, und es generell an zuverlässigen und belastbaren Daten mangelt, um die potenziellen Umweltauswirkungen des Baustellenbetriebs zu ermitteln. Die Fallstudien aus Tabelle 2 zeigen jedoch, dass die Errichtungsphase einen Beitrag von bis zu 5% zu den gesamten Emissionen des Gebäudes haben kann. Fufa et al. [19] rechneten für zwei hoch ambitionierte Neubauten dass die Emissionen der Phase A5 bei 1,52 kg CO₂e/m²a bzw. 0,53 kg CO₂e/m²a lagen. Relativ zu den kurz- und mittelfristigen Benchmark-Zielwerte der SIA 2040 von 11 bis 5,5 kgCO₂eq/m²a für den gesamten Lebenszyklusaufwendungen (siehe den Abschnitt über die Phase A4) wäre den Beitrag der Phase A5 signifikant. Daher wird vorgeschlagen, diese Phase vereinfacht zu berücksichtigen.

➔ **Vorschlag: Die Phase A5 soll vereinfacht berücksichtigt werden.**

Empfehlungen für die Abschätzung der Errichtungsphase A5:

In der Ökobaudat stehen für einige Bauteile Daten für die Phase A5 zur Verfügung. Wenn keine Daten vorhanden sind, sollte noch ein vereinfachtes Rechenverfahren zur Berücksichtigung von A5 entwickelt werden. In den Bericht von Lützkendorf et al. von der Annex 72 [7] befinden sich Vorschläge für vereinfachte Ansätze. Ähnlich wie bei der Phase A4 können spezifische Pauschalwerte verwendet werden, wie in der Finnische LCA-Methodik (Zuschlag von 27,3 kgCO₂eq/m² für Konstruktionsprozesse). Alternativ können relative Zuschläge bezogen auf die Phasen A1 bis A3 angewendet werden (z.B. A5=2%, 5% oder 10% von A1-A3).

B1 – Nutzung

In Phase B1 werden die Umweltauswirkungen von Bauprodukten in der Nutzungsphase betrachtet. Es handelt sich um die nicht-energiebezogenen und nicht-wasserbezogenen Umweltauswirkungen, die mit der Nutzung des Gebäudes verbunden sind. Dabei werden folgende Hauptkategorien berücksichtigt [7]:

- Freisetzung von Stoffen aus Bauteilen:
 - Fluorierte Treibhausgasemissionen infolge der Verwendung von Treibmitteln in Dämmstoffen.
 - Emissionen in die Luft von gestrichenen Oberflächen, wie flüchtige organische Verbindungen (VOC).
 - Emissionen in Süßwasserkörper von Metallfassaden und -dächern, wie Kupferionen.

Die Studienlage zu den Umweltwirkungen der Freisetzung von Stoffen aus Bauteilen in Bezug auf unterschiedliche Umweltindikatoren ist derzeit nicht ausreichend, um die Signifikanz dieser Beiträge klar zu beurteilen. Um dennoch eine Empfehlung für die frühe Planungsphase zu formulieren, wurde eine Auswertung der Ökobaudat 2023 durchgeführt. Dabei wurden Baukomponenten berücksichtigt, die weder von der Betoncarbonatisierung betroffen sind noch Kältemittel sind (ähnliche Komponenten wurden teilweise nicht individuell dargestellt). Die Ergebnisse sind in Abbildung 5 dargestellt.

Auffällig ist insbesondere das Gründachsystem, bei dem die Phase B1 36 % der Phasen A1-A3 beim Indikator ADPE und 28 % beim Indikator EPfreshwater ausmacht. Bei den anderen Komponententypen sind die Umweltauswirkungen deutlich geringer. Generell bleiben die Umweltauswirkungen der Phase B1 für die meisten Komponenten unter 5 % der Phasen A1-A3, beim Umweltindikator POCP. Insgesamt zeigt diese Auswertung, dass der Beitrag der Phase B1 im Verhältnis zu A1-A3 für die in der Ökobaudat verfügbaren Datensätze gering erscheint.

Weitere Untersuchungen und Forschungsarbeiten wären notwendig, um den Beitrag einer breiten Vielfalt von Bauteilen und Materialien genauer zu untersuchen. Mit Blick auf die LCA in frühen Planungsphasen erscheint es jedoch sinnvoll, den Beitrag der Freisetzung von Stoffen aus Bauteilen zunächst zu vernachlässigen.

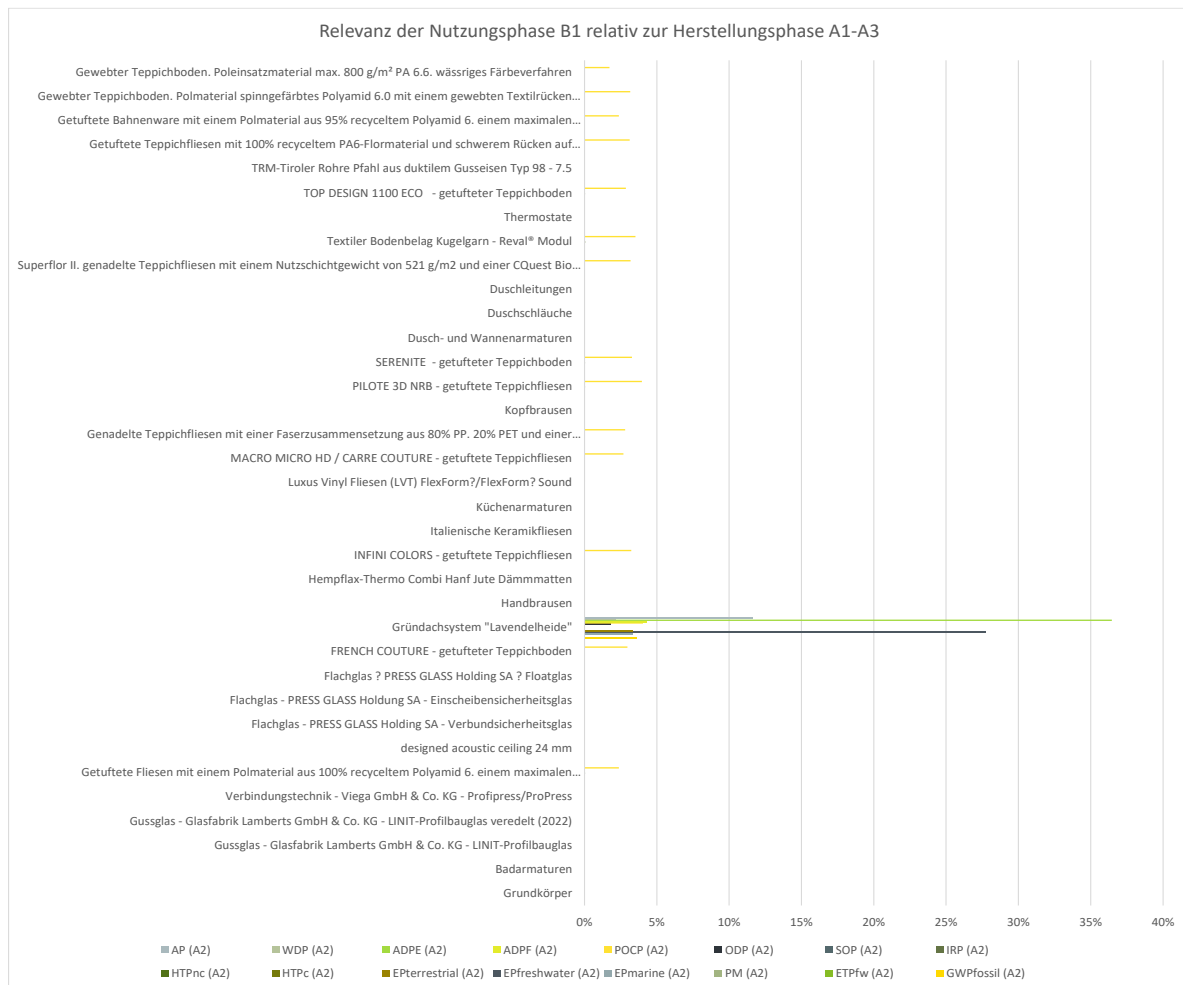


Abbildung 5: Anteil der Nutzungsphase B1 im Verhältnis zur Herstellungsphase A1-A3 für unterschiedlichen Komponenten, und unterschiedliche Umweltindikatoren

- **Betoncarbonatisierung:** während dieses chemischen Alterungsprozesses reagieren Betonbauteile mit CO₂ aus der Luft, wobei sich Calciumcarbonat und Wasser bilden. Dies führt bei Beton und Mörtel zu negativen GWP in der Phase B1, jedoch ist der Effekt insgesamt gering. Bei Beton der Klasse C 20/25 werden laut Ökobaudat-Daten durch Carbonatisierung lediglich 8 % der Emissionen, die zwischen A1 und C3 stattfinden, "kompensiert"⁴. Auf der Ebene des Gesamtgebäudes können laut Lützkendorf et al. maximal 1 % der gesamten Emissionen durch Carbonatisierung bei Massivbauweise eingespart werden [7].
- **Kältemittelleckagen** während der Nutzung von Wärmepumpen und Klimaanlage sowie beim Abbau dieser Geräte. Je nach Kältemittel können diese einen signifikanten Anteil am GWP der Wärmepumpe haben. Beispielsweise werden beim herkömmlichen Kältemittel R-410A 1430 kgCO₂eq/kg emittiert, bei R-32 675 kgCO₂eq/kg und bei R-290 nur 3 kgCO₂eq/kg. Bei einem hypothetischen dekarbonisierten zukünftigen Strommix (Emissionsfaktor von 50 gCO₂eq/kWh) berechneten Vering et al. [21], dass die Emissionen aus Kältemittel (R-410A) bei einem typischen Einfamilienhaus etwa die Hälfte der betriebsbedingten Emissionen (B1+B6) der Wärmepumpe ausmachen würden, was hoch signifikant wäre. Bei einem Emissionsfaktor von 500 g CO₂eq/kWh, der die aktuelle Situation abbildet, würde der Anteil Kältemittel auf 9 % sinken. Allerdings ist die Wahrscheinlichkeit, dass klimaschädliche Kältemitteln 2050 in neue Geräte eingebaut werden, sehr gering. In der Tat werden sich die

⁴ Quelle (Stand 02.10.2024): <https://www.oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=d5d98d4b-a9ba-4fb3-b2d2-6766f8ef5a59&version=00.02.000>

Mengen an klimaschädlichen Kältemitteln in der EU durch einen schrittweisen 'Phase-Down' reduzieren, und klimafreundliche Kältemittel werden zunehmend Marktanteile gewinnen⁵.

Zusammenfassend werden im Rahmen von LezBAU die Emissionen aus der Freisetzung von Stoffen aus Bauteilen, sowie die Betoncarbonatisierung aufgrund deren geringer Effekte vernachlässigt. Die Umweltauswirkungen von Kältemittelleckagen können dagegen bei nicht-natürlichen Kältemitteln signifikant sein. Im Rahmen der QNG-Zertifizierung wurde eine Methodik entwickelt, um den GWP zu berechnen, der durch Leckagen von nicht-natürlichen Kältemitteln verursacht wird⁶. Für den Gerätetyp i und das Kältemittel j wird bei QNG der GWP der Phase B1 wie folgt berechnet:

$$GWP_{B1} = (Lr_i \times \Delta_t + Er_i \times Az_i) \times Fm_j \times GWP_{100j}$$

Mit:

GWP_{B1}	GWP der Phase B1 aufgrund von Kältemittelleckage
Lr_i	Leckagerate in % gemäß Tabelle 3
Δ_t	Betrachtungszeitraum (Vorgabe: $\Delta_t=50a$)
Er_i	Entsorgungsrate in % gemäß Tabelle 3
Az_i	Austauschzyklus gemäß Tabelle 3
Fm_j	Füllmenge des Kältemittels in kg gemäß Herstellerangabe
GWP_{100j}	GWP des Kältemittels gemäß IPCC 4th AR, 2007 oder Umweltbundesamt Fachbroschüre Klimafreundliche Gebäudeklimatisierung, 2014, Tab 1

Die Leckage- und Entsorgungsraten, sowie Austauschzykluswerte sind aus Tabelle 3 zu entnehmen.

Tabelle 3: Leckagerate, Entsorgungsrate und Austauschzyklus für Anlagen mit Kältemitteln im QNG

Anlagentyp	Leckagerate [%]	Entsorgungsrate [%]	Austauschzyklus in 50 a
Splitgeräte	5,00%	49,00	4
Multisplit	5,60%	31,50	3
VRF	6,58	31,50	3
Kältemaschinen Turboverdichter	3,76	21,60	2
Chiller	3,76	21,60	3
Wärmepumpen	2,50	35,20	2
alle weiteren Anlagentypen	2,50	25,00	2

➔ **Vorschlag: Die Phase B1 soll vereinfacht berücksichtigt werden.**

Empfehlungen für die Berechnung der Phase B1:

Nur die Umweltauswirkungen aus Kältemittelleckagen sind signifikant und sollen berücksichtigt werden. Dafür bietet die QNG-Methodik eine solide Grundlage.

⁵ <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/fluorierte-treibhausgase-fckw/rechtliche-regelungen/eu-verordnung-ueber-fluorierte-treibhausgase#vom-phase-down-zum-phase-out-schrittweise-beschränkung-der-am-markt-verfugbaren-mengen-an-teilfluorierten-kohlenwasserstoffen-hfkws-bis-zum-ausstieg-im-jahr-2050>

⁶ Aktuelle QNG Bilanzierungsregeln : <https://www.qng.info/qng/qng-anforderungen/qng-siegeldokumente/>

B2-B3 – Instandhaltung und Instandsetzung

Die Phasen B2 und B3 werden oft entweder vernachlässigt oder vereinfacht mit B4 zusammengefasst – es wurden keine Studien gefunden, die sich detailliert mit diesen Phasen auseinandersetzen. In der DGNB- sowie in der QNG-Methodik werden die Phasen B2 und B3 vernachlässigt. Laut Weißenberger [15] besteht in der Regel die Instandsetzung aus ungeplanten Prozessen, die aufgrund ihrer Unregelmäßigkeit oft vernachlässigt werden. Francart et al. [22] haben die Instandhaltung (B2) für verschiedene Dachkonstruktionen untersucht und festgestellt, dass sie im Durchschnitt 9,5 % der Umweltauswirkungen von A1-A3 + B1-B4 ausmacht. Wenn zusätzliche Phasen berücksichtigt würden, wäre ihr Anteil noch geringer (insbesondere, wenn B6 berücksichtigt würde). Bei der Betrachtung von Beispiel-Bauteilen aus der Ökobaudat (

Abbildung 6) wird auch deutlich, dass B2 und B3 signifikante (bauteilbezogene) GWP-Beiträge haben können. Diese Bauteile wurden beispielhaft ausgewählt und zeigen, dass B2 und B3 relative Beiträge von jeweils bis zu über 20 % des gesamten Bauteil-Lebenszyklus haben können. Weitere Untersuchungen sind notwendig, um den Beitrag der Phasen B2 und B3 zu den gesamten Umweltauswirkungen des Gebäudes genauer zu analysieren. Im ersten Schritt wird jedoch beschlossen, B2 und B3 nicht zu vernachlässigen und sie vereinfacht zu betrachten.

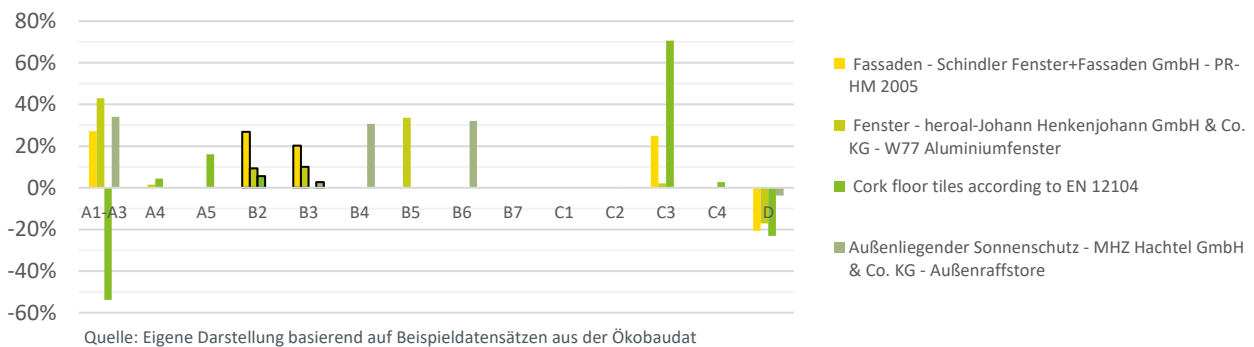


Abbildung 6: Anteil GWP pro Lebenszyklusphase für vier Beispiel-Bauteile aus der Ökobaudat 2021, bezogen auf die Gesamtemissionen, eigene Darstellung

➔ **Vorschlag: Die Phasen B2 und B3 sollen vereinfacht berücksichtigt werden.**

Empfehlungen für die Berechnung der Phasen B2 und B3:

Als erster Vorschlag für die Berücksichtigung von B2 und B3 im Rahmen von LezBAU könnte man die in den Ökobaudat vorhandenen Daten verwenden. Wenn für einen bestimmten Bauteil keine Daten für B2-B3 verfügbar sind, was derzeit in den meisten Fällen der Fall ist, könnte ein Warnhinweis angezeigt werden, oder Pauschalwerte verwendet werden.

B4 – Austausch

Die Phase B4 berücksichtigt die Umweltauswirkungen, die vom Austausch von Bauteilen und Systemen nach Ablauf ihrer Nutzungsdauer entstehen. Typischerweise bestehen diese grauen Aufwendungen aus der Summe der Herstellungs- und Entsorgungs-Phasen der neu eingebauten Komponenten. Dies kann vereinfacht für die Summe N aller relevanten Komponenten x wie folgt gerechnet werden:

$$B4_{\text{Gebäude}} = \sum_N A1 - A5_{\text{Komponent x}} + C1 - C4_{\text{Komponent x}}$$

Außerdem werden die Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenze $\sum_N D1_{\text{Komponent x}}$ als Beitrag zu $D1_{\text{Gebäude}}$ berücksichtigt.

Bei QNG werden nur die Herstellung ohne Transport und Errichtung (A1-A3), sowie nur die Entsorgung ohne Rückbau und Transport (C3-C4) berücksichtigt. Die Phasen A4-A5 und C1-C2 der jeweiligen Sanierungsmaßnahmen werden aufgrund ihrer geschätzten geringen Beiträge vernachlässigt.

Die Ersatzzeitpunkte von einzelnen Bauteilen können von verschiedenen Faktoren beeinflusst werden, wie in der VDI 2067 erwähnt:

- das Ende der technischen Lebensdauer;
- das Ende der wirtschaftlichen Nutzungsdauer;
- die Verfügbarkeit modernerer Komponenten; und/oder
- ästhetische Gründe etc.

In der VDI 2067 wird auf Basis empirischer Daten eine „mittlere Verweildauer“ von Bauteilen als die Zeitspanne zwischen Ein- und Rückbau definiert, bei der alle genannten Abbaugründe undifferenziert betrachtet werden. Folgende Datenquellen für Verweil- bzw. Nutzungsdauer können verwendet werden:

- Lebensdauer-Tabelle des BBSR⁷ (wie bei QNG und DGNB)
- Angaben für Referenz-Nutzungsdauern aus Umweltproduktdeklarationen (EPD) gemäß DIN EN 15804
- Empirische Daten aus Goulouti et al. [23]
- Für die Anlagentechnik können die Nutzungsdauern nach VDI 2067 verwendet werden (die bereits in der Ökobaudat hinterlegt sind) und die Austauschzyklenwerte nach QNG.

Ein weiterer Aspekt, der bei der Ermittlung der Ersatzzeitpunkte berücksichtigt werden muss, ist die Tatsache, dass die verschiedenen Schichten, aus denen ein Bauteil besteht, unterschiedliche Verweildauern haben können. Es muss also bei der Bilanzierung beachtet werden, dass z. B. wenn eine Außendämmung am Ende ihrer Verweildauer ist und erneuert werden muss, der darauf befindliche Putz ebenfalls erneuert wird, unabhängig von seiner verbleibenden Verweildauer. An dieser Stelle gibt die 18599-Gütegemeinschaft [24] folgende Empfehlung: „Kürzere Nutzungsdauern von Material, das von Material mit längeren Nutzungsdauern eingeschlossen ist, kann (muss aber nicht) erhöht werden (z.B. Estrich-Dämmung).“

Bei der Berechnung der Umweltauswirkungen der Phase B4 gibt es verschiedene Methoden, die in Lützkendorf et al. [7] detailliert dargestellt wurden. Die zwei verbreitetsten Ansätze sind die folgenden⁸:

- **Statische Betrachtung:**
 - Zunächst wird die Anzahl der Ersetzungen eines bestimmten Bauteils (z. B. eines Fensters) ermittelt, indem die Referenznutzungsdauer des Gebäudes (z.B. 60 Jahre) durch die Referenznutzungsdauer des Bauteils (z.B. 30 Jahre) geteilt wird, abzüglich 1. In diesem Beispiel würden die Fenster während der Nutzungsdauer des Gebäudes nur einmal ersetzt. Beträgt die Referenznutzungsdauer des Gebäudes 50 Jahre, wäre die genaue Anzahl der Ersetzungen 0,67. Da Bruchteilsersetzungen nicht möglich sind, wird dieser Wert auf die nächste ganze Zahl aufgerundet (in diesem Fall: 1).
 - Zweitens werden die Umweltauswirkungen der Herstellung eines bestimmten Bauteils (z. B. eines Fensters) bestimmt.
 - Drittens werden die Umweltauswirkungen der Herstellung aller Bauteile eines Gebäudes summiert, um die Umweltauswirkungen der Produktphase (Module A1-A3) zu erhalten.
 - Viertens werden die Umweltauswirkungen der Herstellung aller Bauteile eines Gebäudes mit der Anzahl der Ersetzungen multipliziert und dann addiert, um die Umweltauswirkungen der Ersetzungen während der Nutzungsphase (Modul B4) zu ermitteln.
 - Fünftens werden die gesamten grauen und nutzungsbedingten Umweltauswirkungen durch die Referenznutzungsdauer des Gebäudes geteilt.
Dieser Ansatz wird vom CEN-Standard zur Bewertung der Umweltauswirkungen von Gebäuden gefordert, und wird im QNG-Zertifizierungssystem verwendet.
- **Dynamische Betrachtung:** Jedes Bauteil hat einen Alterszähler, der jedes Jahr um eins erhöht wird. Wenn das Alter die Lebensdauer erreicht, werden die Umweltauswirkungen, die den Ersetzungsprozessen entsprechen, hinzugefügt. Nach 90 % der Lebensdauer des Gebäudes wird der Ersatz nicht mehr berücksichtigt.

➔ **Vorschlag: Die Phase B4 soll detailliert berücksichtigt werden.**

Empfehlungen für die Berechnung der Phase B4:

⁷ <https://www.nachhaltigesbauen.de/austausch/nutzungsdauern-von-bauteilen/>

⁸ Es handelt sich um die Ansätze „R1“ und „S“ in der Studie von Lützkendorf et al. [7]

Als erster Vorschlag wird eine dynamische Betrachtung bevorzugt, um die Gefahr einer Überschätzung der Umweltauswirkungen durch Abrundung in der statischen Betrachtung zu vermeiden. Dabei sollten, sofern möglich, die Phasen A1-A5, C1-C4 sowie D der erneuerten Bauteile berücksichtigt werden (die Phasen A4-A5 sowie C1-C2 können pauschal einbezogen werden). Die Lebensdauer-Tabelle des BBSR sollte verwendet werden, um die gleiche Datengrundlage wie die QNG-Bewertung zu nutzen.

B5 – Modernisierungen

Diese Phase betrachtet die künftige Modernisierung von Bauteilen und Anlagentechnik, die bereits während der Planung bekannt ist. Im Rahmen von LezBAU wird jedoch davon ausgegangen, dass keine zukünftigen Modernisierungen geplant sind.

→ **Vorschlag: Die Phase B5 wird vernachlässigt.**

B6 – Energieeinsatz für den Betrieb

Die Phase B6 wird in drei Phasen unterteilt, die unterschiedliche Aspekte des Energieeinsatzes für den Gebäudebetrieb abdecken.

B6.1 – Betriebsbedingte Energieaufwendungen mit Bezug zu Normen und/oder Ordnungsrecht

Die Phase B6.1 betrachtet die Umweltauswirkungen, die durch den gebäudebezogenen und normativ geregelten Energieaufwand (z.B. entsprechend des GEG-Bilanzrahmens) verursacht werden. Hierbei werden unter anderem die Energiebedarfe für Heizung, Warmwasser und Gebäudekühlung berücksichtigt, die in der Regel einen hohen Einfluss auf die Gesamtbilanz haben. Daher sollte die Phase B6.1 detailliert betrachtet werden.

Bei der Berücksichtigung von selbst erzeugtem Strom (z. B. durch eine Photovoltaikanlage) können unterschiedliche methodische Ansätze verfolgt werden, die von Lützkendorf et al. im Detail beschrieben werden [7]. Zwei mögliche Ansätze sind wie folgt:

- Die grauen Aufwendungen der Photovoltaikanlage werden zu 100 % dem Gebäude zugeordnet. Der selbst erzeugte Strom ersetzt Strom aus dem Strommix und reduziert somit die Emissionen der Phase B6.1. Überschüssiger Strom wird exportiert und als abgeführte Versorgungsmedien in Phase D2 berücksichtigt.
- Die grauen Aufwendungen der PV-Anlage werden jeder von der PV-Anlage erzeugten kWh zugeordnet. Wenn z. B. der durch die PV-Anlage erzeugte Strom zu 40 % selbst genutzt und zu 60 % ins Netz eingespeist wird, werden die grauen Emissionen aus Herstellung, Wartung und Entsorgung entsprechend zu 40 % in den Modulen A1-A3, B4, C3 und C4 im Rahmen der Gebäudebilanzierung berücksichtigt. Dieser Ansatz wird in der QNG-Methodik verfolgt.

→ **Vorschlag: Die Phase B6.1 soll detailliert berücksichtigt werden.**

Empfehlungen für die Berechnung der Phase B6.1:

Die nutzungsbedingten Aufwendungen sollen mit einem verlässlichen, aber einfachem Verfahren berechnet werden, dass mit den geringen Datenverfügbarkeiten in der frühen Planungsphase klarkommt. Normative Berechnungsansätze wie z.B. nach der DIN V 18599 benötigen sehr viele detaillierte Angaben, welche aber in den frühen Planungsphasen in der Regel nicht bekannt sind.

B6.2 – Betriebsbedingte Energieaufwendungen ohne Bezug zu Normen und/oder Ordnungsrecht

Die Phase B6.2 betrachtet die Umweltauswirkungen infolge des gebäudebezogenen Energieaufwands, der nicht den primären, üblicherweise den normativen Bedarfen zugehörig, angerechnet wird. Laut Lützkendorf et al. kann diese Phase von hoher Relevanz sein [7]. In QNG wird diese Phase nur bei Nichtwohngebäuden berechnet und umfasst die Stromverbräuche, die durch die Nutzung von Aufzügen entstehen, sowie die Stromverbräuche von zentralen Diensten (Schwachstromanlagen und Videoüberwachungsanlagen).

→ **Vorschlag: Die Phase B6.2 soll vereinfacht berücksichtigt werden.**

Empfehlungen für die Berechnung der Phase B6.2:

Die vereinfachte Berechnungsmethodik des QNG anhand von Pauschalwerten für den Stromverbrauch von Aufzügen und zentralen Diensten sollten als Grundlage für die Berechnung der Phase B6.2 herangezogen werden.

B6.3 – Nutzerbezogene Energieaufwendungen

Diese Phase umfasst die Umweltauswirkungen infolge des nutzer- und nutzungsbezogenen Energieaufwands (z.B. Nutzerstrom). Laut Lützkendorf et al. kann diese Phase von hoher Relevanz sein [7].

➔ **Vorschlag: Die Phase B6.3 soll vereinfacht berücksichtigt werden.**

Empfehlungen für die Berechnung der Phase B6.3:

Im QNG-Ansatz wird ein Pauschalwert von $20 \text{ kWh/m}^2_{\text{beheizte NRF}}$ für den Haushaltsstrom in Wohngebäuden als vereinfachter Ansatz angenommen [16]. Bei Nichtwohngebäuden sind außerdem nutzungsspezifischen Werten hinterlegt. Im Rahmen einer Gebäude-Ökobilanzierung könnte ein ähnlicher Ansatz verfolgt werden, wobei zwischen durchschnittlichem und sparsamem Haushaltsstrombedarf gewählt werden könnte. Alternativ können alle GEG-relevanten Bedarfe im Nichtwohngebäudebereich über die nutzungszonenspezifischen Werte der DIN V 18599-10, daraus abgeleiteten gebäudenutzungsspezifischen mittleren Werten oder den Teilenergiekennwerten (TEK) aus der „Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand“ [25] abgeschätzt werden. Wir schlagen vor, die Umsetzung auf Basis der nutzungszonenspezifischen Werte der DIN V 18599-10 umzusetzen und für die Wohngebäude entsprechend Werte zu ergänzen, die zum QNG-Ansatz passen.

B7 – Wassereinsatz für den Betrieb

In Phase B7 werden die Umweltauswirkungen untersucht, die mit der Gewinnung, Aufbereitung und Bereitstellung von Trinkwasser sowie der Abwasseraufbereitung verbunden sind. Für diese Prozesse gibt es spezifische Emissionsfaktoren pro m^3 . In zwei Fallstudien (siehe Tabelle 2) betrug der GWP-Beitrag in dieser Phase weniger als ein Prozent. Außerdem wird diese Phase oft vernachlässigt, u.a. bei QNG und DGNB. Der Wasserverbrauch im Betrieb ist stark von der Gebäudenutzung und dem Nutzerverhalten abhängig.

Da der Einfluss auf das GWP gering erscheint und unabhängig von der Gebäudekonstruktion sowie der TGA ist, wird vorgeschlagen, sofern keine Wasseraufbereitung im Gebäude stattfindet, diesen zu vernachlässigen. Wenn jedoch die grauen Aufwendungen von TGA-Komponenten, die den Wasserverbrauch beeinflussen (z. B. Anlagen zur Regenwassersammlung oder Grauwasseranlagen), berücksichtigt werden, sollte Phase B7 einbezogen werden. Phase B7 sollte auch berücksichtigt werden, wenn mehrere Gebäude mit und ohne Regenwasser- bzw. Grauwasseranlagen verglichen werden.

➔ **Vorschlag: Die Phase B7 kann vernachlässigt werden, solange im Gebäude keine TGA zur Wasseraufbereitung eingesetzt wird. Wird jedoch TGA zur Wasseraufbereitung eingesetzt, sollte die Phase B7 berücksichtigt werden.**

B8 – Nutzeraktivitäten

Diese Phase umfasst die Energieaufwendungen bzw. Emissionen, die durch Nutzungsaspekte im Zusammenhang mit dem Gebäude verursacht werden, aber nicht Teil des durch den Betrieb des Gebäudes entstehenden Energieverbrauch der LC-Phase B6 sind. Da diese Verbräuche weitestgehend unabhängig von der Gebäudekonstruktion und der Gebäudetechnik sind, wird diese Phase als wenig relevant betrachtet.

➔ **Vorschlag: Die Phase B8 kann vernachlässigt werden.**

C1 – Rückbau

Die Rückbauprozesse können ähnlich wie die Konstruktionsprozesse (Phase A5) betrachtet werden. Diese Phase wird im QNG nicht berücksichtigt, könnte jedoch bei hochambitionierten Gebäuden relevant sein.

→ **Vorschlag: Die Phase C1 wird vereinfacht berücksichtigt.**

Empfehlungen für die Berechnung der Phase C1:

Ähnlich wie bei der Phase A5 können Pauschalwerte verwendet werden.

C2 – Transport von der Baustelle zum Entsorgungsort

Der Transport des Abbruchmaterials vom Gebäude zum Recycling-Standort oder zur Deponie kann ähnlich wie der Transport von Materialien vom Werkstor zur Baustelle (Phase A4) betrachtet werden.

→ **Vorschlag: Die Phase C2 wird vereinfacht berücksichtigt.**

Empfehlungen für die Berechnung der Phase C2:

Ähnlich wie bei der Phase A4 können Pauschalwerte verwendet werden.

C3-C4 – Abfallaufbereitung und Abfallentsorgung

Gemäß

Abbildung 4 können die Phasen C3 und C4 einen erheblichen Beitrag zur Gesamtbilanz leisten. In der Ökobaudat stehen in der Regel Standardszenarien für diese Phasen als Berechnungsgrundlage zur Verfügung.

→ **Vorschlag: Die Phasen C3 und C4 werden detailliert berücksichtigt.**

Empfehlungen für die Berechnung der Phasen C3 und C4:

Die Berücksichtigung sollte über eine detaillierte Sachbilanz erfolgen, in dem die Materialmengen ermittelt und mit entsprechenden Umweltwirkungsindikatoren multipliziert werden.

D1-D2 – Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenze

Das Modul D1 (Recyclingpotenzial) erfasst die Nettoflüsse aus Wiederverwendung, Recycling, Energierückgewinnung und anderen Verwertungsverfahren und ist als zusätzliche Information auszuweisen. Zur Ermittlung dieser Flüsse werden nicht nur Effekte beim Rückbau des Gebäudes, sondern auch beim Austausch von Bauteilen (LC-Phase B4) berücksichtigt. Im Modul D2 werden abgeführte Versorgungsmedien wie elektrische Energie (z.B. PV-Strom), thermische Energie und Trinkwasser angegeben. Damit werden in diesem Modul Informationen zu potenziell bei Dritten vermiedenen Emissionen infolge exportierter Energie berücksichtigt. Die Module D1 und D2 können methodisch anspruchsvoll sein und einen hohen Einfluss auf die Ergebnisse haben. Daher sollten sie detailliert und separat berücksichtigt werden.

→ **Die Phasen D1 und D2 werden detailliert berechnet, jedoch separat von der Gesamtbilanz dargestellt.**

Empfehlungen für die Berechnung der Phasen D1 und D2:

Die Berücksichtigung sollte über eine detaillierte Sachbilanz erfolgen, in dem die Material- und Energiemengen ermittelt und mit entsprechenden Umweltwirkungsindikatoren aus der Ökobaudat multipliziert werden.

Zwischenfazit – Berücksichtigten Lebenszyklusphasen

Im Licht der internationalen Literatur wurde die Relevanz der einzelnen Lebenszyklusphasen in den letzten Kapiteln untersucht. Zusammenfassend wird in Tabelle 4 ein Vorschlag formuliert, welche Phasen hinsichtlich ihrer Relevanz betrachtet werden sollten und wie diese betrachtet werden können (z. B. detailliert oder anhand von Pauschalwerten oder Zuschlägen).

Tabelle 4: Vorschlag für die Berücksichtigung der Lebenszyklusphasen in EnOB:LezBAU

	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6.1	B6.2	B6.3	B7	B8	C1	C2	C3	C4	D1	D2
QNG Wohngebäude	x	x	x			v			x		x		p					x	x	(x)	(x)
QNG Nichtwohngebäude	x	x	x			v			x		x	p	p					x	x	(x)	(x)
Vorschlag	x	x	x	p	p	p	p	p	x		x	p	p			p	p	x	x	(x)	(x)

Legende:
 x: detaillierte Ermittlung
 (x): Zusatzangabe
 p: Pauschale/Zuschläge
 v: Verbot

In der Literatur hat Lützkendorf [9] verschiedene Varianten für die Systemgrenzen einer gebäudebezogenen Ökobilanz vorgeschlagen, die in Tabelle 5 dargestellt werden:

- a) Eine theoretisch wünschenswerte Vorgehensweise.
- b) Eine mittelfristig anzustrebende Lösung.
- c) Eine pragmatische Vorgehensweise, die sich am aktuellen Stand der Entwicklung orientiert.

Tabelle 5: Varianten der Systemgrenzen basierend auf einzubeziehenden Phasen und Modulen – Auszug aus [9]

Modul-	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6.1	B6.2	B6.3	B7	B8	C1	C2	C3	C4	D1	D2
kürzel																			
	Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus (Carbon footprint) gesamt																		
a)	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X			X	X	X	X	(x)	(x)
b)	X	r	r	V	r	r	X		X	X	p			r	r	X	X	(x)	(x)
c)	X						X		X							X	X	(x)	

Legende

r=Rechenwert, V=Verbot, p=Pauschale, X=detaillierte Ermittlung, (x) Zusatzangabe

Die für LezBAU vorgeschlagenen Systemgrenzen stimmen im Allgemeinen mit Variante b) überein, der mittelfristig anzustrebenden Lösung. Dabei werden die wichtigsten Phasen detailliert, die weniger relevanten Phasen vereinfacht und die Phasen mit vernachlässigbaren Beiträgen oder irrelevanten Phasen nicht berücksichtigt. Dieser Vorschlag soll als Grundlage für die Berechnungsmethodik des LezBAU-Tools dienen. Durch die Entscheidung, mehr Phasen als in der QNG-Methodik zu berücksichtigen, wären die Hauptergebnisse des LezBAU-Tools nicht direkt mit den QNG-Werten vergleichbar. Es könnte jedoch die Möglichkeit gegeben werden, aus Teilergebnissen im LezBAU-Tool QNG-kompatible Ergebnisse anzuzeigen.

4. Relevanz von Bauteilen und Anlagentechnik

Ein Gebäude kann als eine hochkomplexe Zusammenstellung von Bauteilen und Anlagentechnikkomponenten betrachtet werden, die sowohl Großbauteile wie massive Decken und Außenwände als auch Kleinerelemente wie Schrauben und Verbindungselemente umfasst. Welche Bauteile und Anlagentechnikkomponenten im Rahmen einer Ökobilanz berücksichtigt werden, hat einen entscheidenden Einfluss auf die Ergebnisse und sollte daher klar definiert werden. In deutschen Kontext werden Bauteile und Anlagentechnik im Rahmen der DIN 276 in den Kosten-gruppen 300 (Bauteile) und 400 (Anlagentechnik) kategorisiert. Auf

Abbildung 7 sind diese Kategorien zusammengefasst und bieten einen breiten Überblick über allen relevanten Gebäudekomponenten.

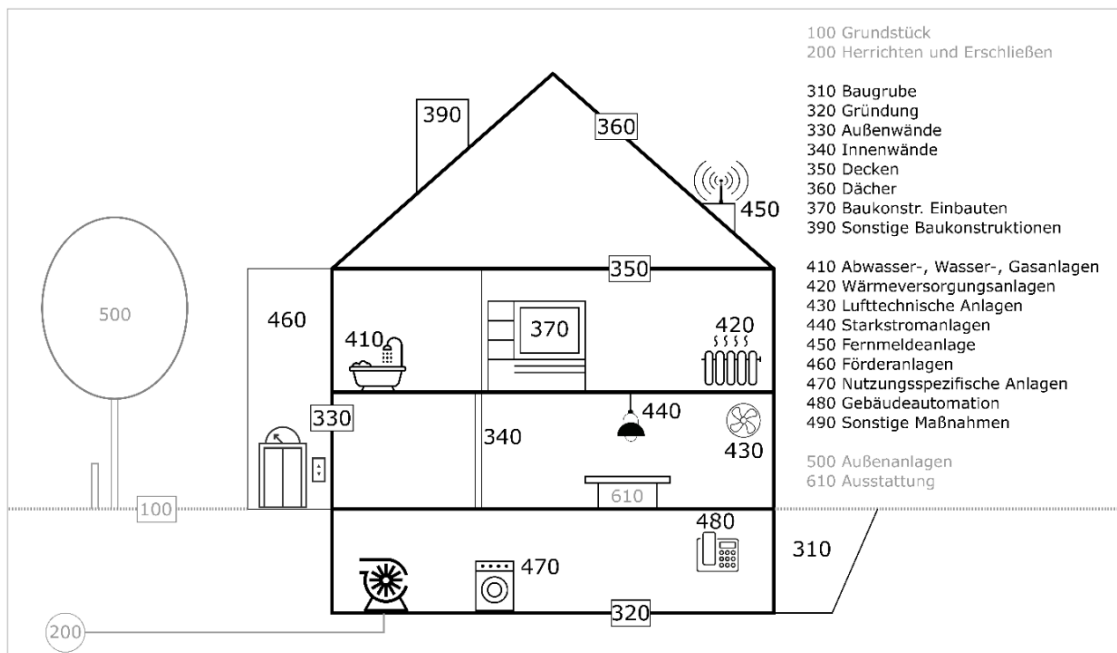


Abbildung 7: Kategorisierung von Bauteilen und Anlagentechnik nach den Kostengruppen (KG) der DIN 276, Abbildung aus Lützkendorf et al. [9]

Im Rahmen des QNG-Zertifizierungssystems werden die wichtigsten Komponenten der KG 300 und KG 400 berücksichtigt. Bauteile der KG 500 (Außenanlagen) werden nur betrachtet, wenn sie für die Aufrechterhaltung des Gebäudebetriebs zwingend erforderlich sind. Die detaillierten QNG-Systemgrenzen und Abschneidekriterien wurden bereits in Abschnitt 2.b. dargestellt.

a. Beitrag individueller Bauteile und Anlagentechnik-Komponenten an der Gesamtbilanz

In der internationalen statistischen Analyse von Röck et al. [10] wurden die grauen Aufwendungen von Bauteilen und Anlagentechnikkomponenten bei neugebaute Wohn- und Nichtwohngebäuden verglichen (siehe

Abbildung 8). Dabei wurde festgestellt, dass alle Hauptkomponenten relevante Emissionen aufweisen. Diese Hauptkomponenten sind: Böden (Ground), strukturelle Elemente (Structure), Gebäudehülle (Envelope), innere Bauteile (Internal), sowie Anlagentechnik (Services). Im Vergleich dazu sind die Emissionen von nutzerspezifischen Geräten – Appliances – relativ gering. Diese werden jedoch in der Regel außerhalb der Systemgrenzen betrachtet, da sie unabhängig vom Gebäudedesign sind.

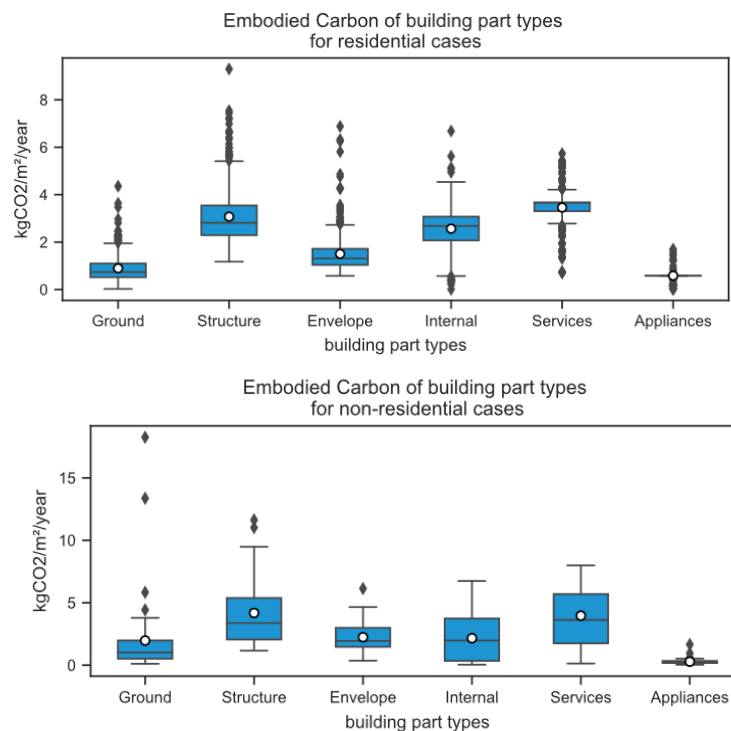


Abbildung 8: Graue Treibhausgasemissionen einer Stichprobe von Wohn- und Nichtwohngebäuden, differenziert nach Typen von Baukomponenten, aus Röck et al. [10]

In einer weiteren Studie von Hollberg et al. [26] wurden im schweizer Kontext die grauen Aufwendungen einer großen Anzahl verschiedener Bauteilvarianten berechnet und ausgewertet. Die Ergebnisse in $\text{kgCO}_2\text{eq}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$ sind in Abbildung 9 dargestellt. Hierbei zeigt sich generell eine große Bandbreite an THGE der einzelnen Bauteile. Die Komponenten Dach, Fenster, Außenwände sowie Geschossdecken und Fundamente weisen im Mittel relativ hohe THG-Emissionen auf. Innen- und Trennwände haben im Durchschnitt geringere graue Emissionen. Aufgrund der großen Bandbreite können diese aber nicht vernachlässigt werden. Daraus ergibt sich, dass keine der in dieser Grafik dargestellten Komponenten vernachlässigt werden sollten, mit Ausnahme der Balkone, deren Bandbreite begrenzt ist und die in der Regel kleinere Flächen im Vergleich zu Außenwänden, Decken etc. aufweisen.

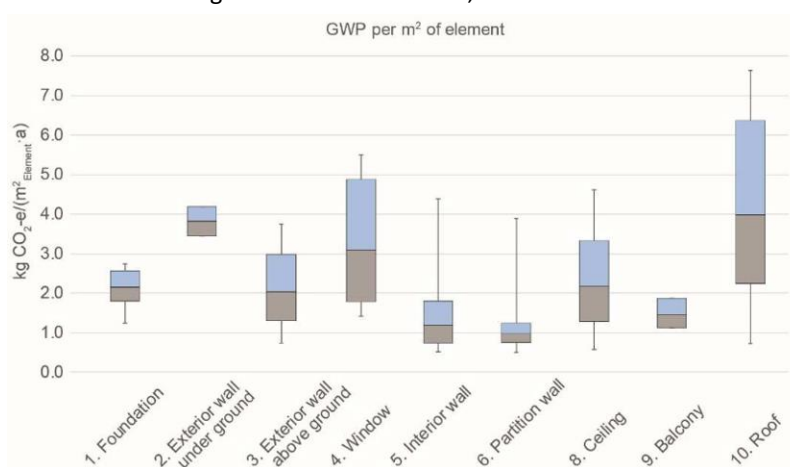


Abbildung 9: Variabilität der THGE pro m² Bauteil, für verschiedene Bauteiloptionen, Darstellung von Hollberg et al. [26]

Im deutschen Kontext hat Markus Weißenberger im Rahmen seiner Dissertation eine detaillierte Untersuchung der Beiträge einzelner Anlagentechnikkomponenten (sowie Bauteile) durchgeführt [15]. Dabei hat er für zwei Gebäudetypen (EFH und MFH) unterschiedliche Konstruktions- und Anlagentechnik-Varianten berechnet und die Beiträge der jeweiligen Komponenten zur Gesamtbilanz verglichen. In Abbildung 11 sind die Einflüsse ausgewählter Bauteile an den gesamten bauteilbezogenen grauen Aufwendungen⁹ eines massives EFH, bei unterschiedlichen Konstruktionsvarianten dargestellt (die Nutzungsphase bleibt hier unberücksichtigt). In Abbildung 10 sind die Beitragsbereiche ausgewählter TGA-Komponenten an den gesamten TGA-bedingten grauen Aufwendungen eines EFH dargestellt. Eine ähnliche Einflussverteilung konnte bei den MFH festgestellt werden. Die Kategorie Fördertechnik wurde separat dargestellt, da diese spezifisch für MFH ist.

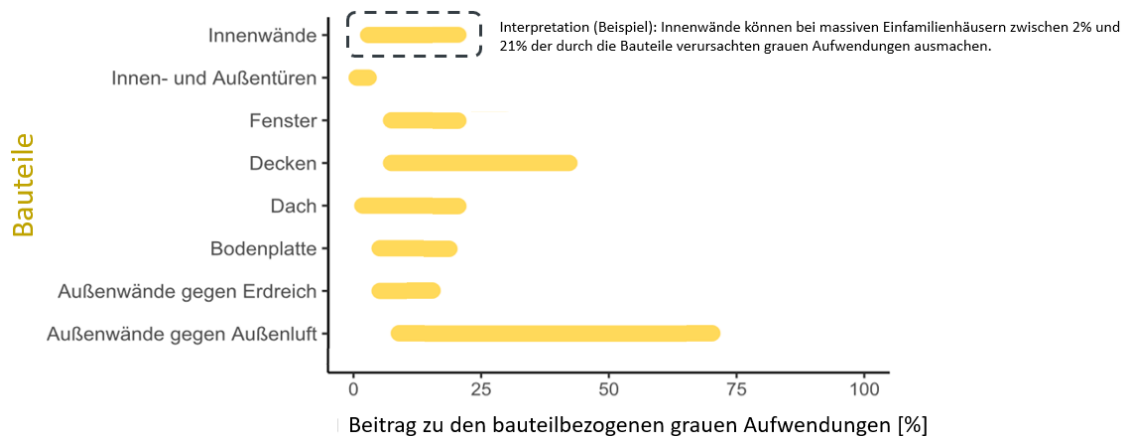


Abbildung 10: Beitrag von individuellen Bauteilen zu den gesamten grauen Aufwendungen von Bauteilen bei verschiedenen Konstruktionsvarianten für massive EFH – Eigene Darstellung basierend auf Weißenberger [15]

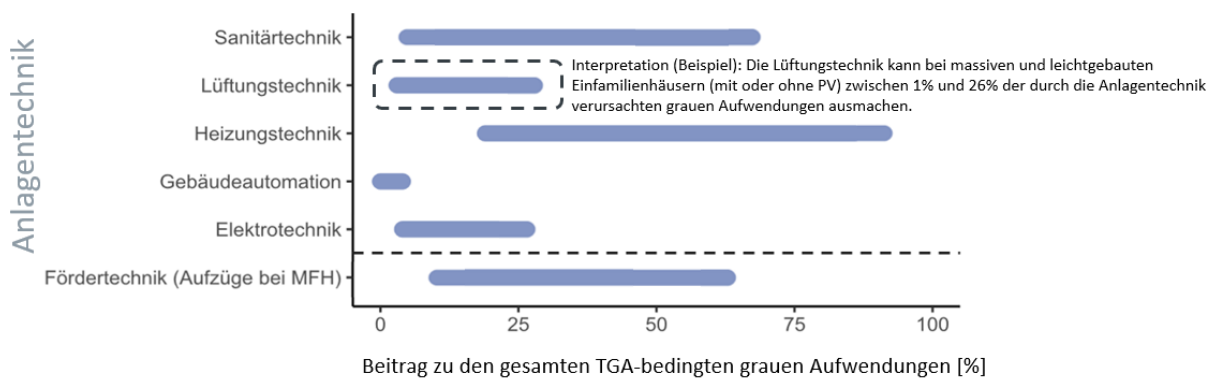


Abbildung 11: Beitrag von individuellen TGA-Komponenten zu den gesamten grauen Aufwendungen von der Anlagentechnik bei verschiedenen Konstruktionsvarianten für EFH – Eigene Darstellung basierend auf Weißenberger [15]

Es ergibt sich, dass fast alle Gebäudekomponenten einen als relevant bewerteten Beitrag an den bauteilbezogenen bzw. TGA-bezogenen grauen Aufwendungen haben können. Die einzigen Ausnahmen sind Innen- und Außentüren sowie die Gebäudeautomation, da bei diesen die maximalen Beiträge nur einige Prozentpunkte betragen.

Um den Beitrag der TGA an den gesamten grauen Aufwendungen des Gebäudes besser einzuordnen, hat Weißenberger die LCA verschiedener Bauteil- und TGA-Variationen am Beispiel eines neugebauten Einfamilienhauses im

⁹ Unter „grauen Aufwendungen“ ist eine Kombination von den Indikatoren $PE_{ges.}$, $PE_{n.e.}$, GWP, AP, EP, POCP gemeint, die in der Studie von Weißenberger verwendet wurde.

KfW-40-Standard durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 12 dargestellt. Die linke Grafik zeigt Konstruktionsvariationen ohne PV-Anlage, die rechte mit PV-Anlage. Ohne PV machen in dieser Untersuchung die grauen Energieaufwendungen der TGA bis zu knapp 20 % und mit PV bis zu knapp 35 % der gesamten grauen Aufwendungen des Gebäudes aus. Das bedeutet, dass allein die PV-Anlage genauso viele graue Energieaufwendungen verursachen kann wie der gesamte Rest der Anlagentechnik zusammen. Je klimafreundlicher die Gebäudekonstruktion wird (z. B. Holzleichtbau statt Massivbau), desto größer wird die Bedeutung der Anlagentechnik.

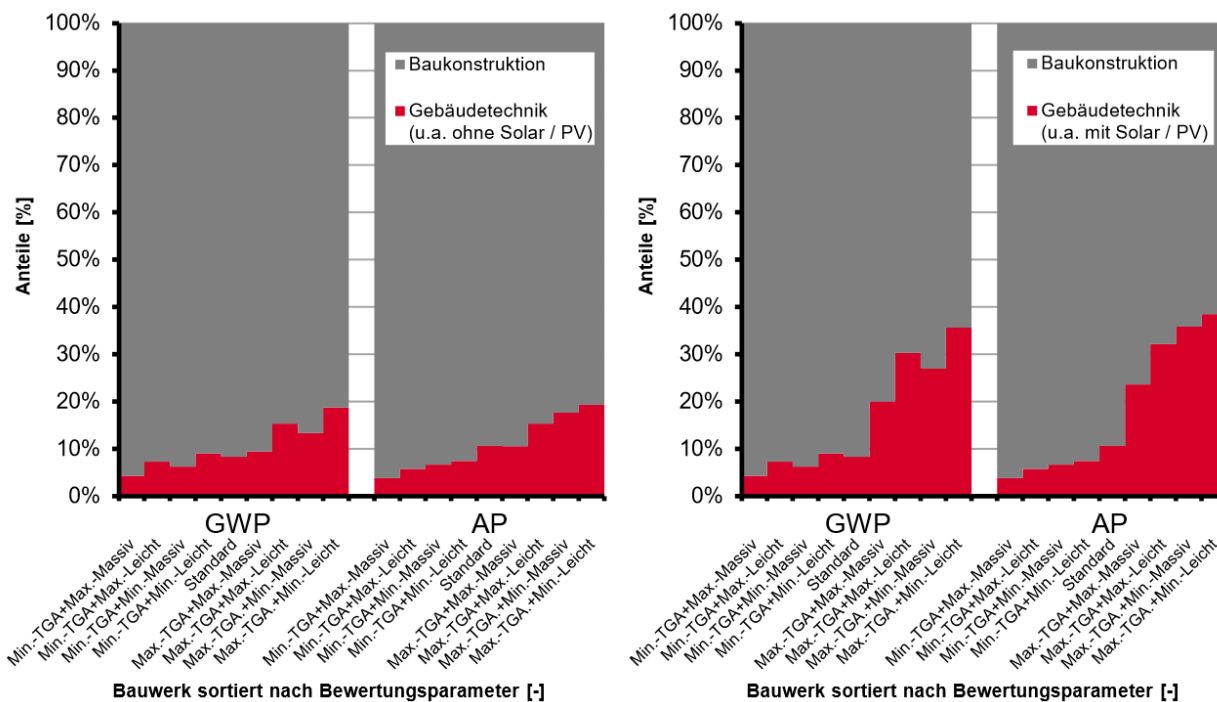


Abbildung 12: Anteile der Baukonstruktion und der Gebäudetechnik (u.a. Heizungstechnik ohne Solar- bzw. PV-Anlage (links) sowie mit / ohne Solar- und mit / ohne PV-Anlage (rechts)) für das KfW 40-Einfamilienhaus beim Treibhaus- (GWP) bzw. Versauerungspotenzial (AP) –Darstellung aus Weißenberger [15]

Im Rahmen einer internationalen Studie von Röck et al. [27] wurden die Daten zu den grauen Aufwendungen von 1.200 EU-Gebäude-Fallstudien in eine Datenbank namens CarbEnMats gesammelt und harmonisiert¹⁰. Eine Auswertung der Datenbank ist in Anhang 2 dargestellt. Dabei wurde untersucht, wie groß der Anteil der grauen Aufwendungen der TGA im Verhältnis zu den gesamten grauen Aufwendungen ist.

Bei Wohngebäuden ergeben sich Anteile von bis zu maximal etwa 40 % (ohne Ausreißer) bei Ein- und Mehrfamilienhäusern, was mit den Ergebnissen von Weißenberger in Abbildung 12 übereinstimmt. Die Mittelwerte liegen bei 21 % für Mehrfamilienhäuser, 30 % für Einfamilienhäuser, 15 % für Doppelhaushälften und 16 % für Reihenhäuser.

Bei Nichtwohngebäuden betragen die Maximalwerte ohne Ausreißer bis zu 48 %. Die Mittelwerte liegen bei 22 % für Bürogebäude und 26 % für Schulen. Je nach Gebäudetyp variieren diese Anteile deutlich und können hochsignifikant sein.

b. Relevanz von TGA-Komponenten

Weißenberger [15] hat folgende Hauptverursacher für Umweltauswirkungen in der TGA in den Lebenszyklusphasen A1-A3, B2-B4, B6, C3-C4 und D identifiziert (in Klammern sind die Anteile der Hauptkomponenten am Gewerk dargestellt, bei verschiedene Gebäudevarianten):

- Sanitärtechnik: Sanitärkeramik, Wannen und Wasserrohrleitungen (25 % bis 60 %);

¹⁰ <https://github.com/mroeck/carbenmats-buildings>

- Heizungstechnik: Wärmeerzeuger einschließlich Solarthermie- bzw. PV-Modul, Trinkwarmwasserspeicher und Wärmeübergabe (Heizkörper oder Fußbodenheizungsrohr) (60 % bis 95 %);
- Lüftungstechnik: Wohnraumlüftungsgerät, (Rohr-)Schalldämpfer und Anbindeluftleitung (60 % bis 85 %); und
- Elektrotechnik: dreiadrige Kabel für Beleuchtung und Steckdosen (60 % bis 70 %).

Die Untersuchung zeigt, dass Verteilleitungen für Heizung und Warmwasser sowie Lüftungs- und Stromleitungen einen signifikanten Anteil der grauen Aufwendungen aufweisen können. Sie sollten daher nicht vernachlässigt werden. Diese Relevanz der Verteilleitungen wird auch von der schweizerischen SYGREN-Studie [28] bestätigt, welche zeigt, dass Rohre, Lüftungskanäle und Stromleitungen signifikante Anteile an den grauen Emissionen der TGA verursachen. Konsequenterweise sollten diese Elemente im Rahmen von LezBAU berücksichtigt werden. Die QNG-Methodik berücksichtigt die TGA beispielsweise durch die Summe eines pauschalen Sockelbetrags für Leitungen und den Beiträgen von Einzelkomponenten [16]. Laut Weißenberger sind Gebäudeautomation (KG 480) aufgrund deren geringen Beitrag zu vernachlässigen. Diese Annahme wird im Rahmen von LezBAU auch übernommen.

c. Relevanz von Bauteilen

Die Relevanz eines bestimmten Bauteils hängt hauptsächlich von den verwendeten Baumaterialien ab. Im Beispiel einer Außenwand wird bei Verwendung einer Holzständerkonstruktion mit Zellulosedämmung der Beitrag der Außenwand an der Gesamtkonstruktion wahrscheinlich sehr klein oder eventuell vernachlässigbar sein. Bei Verwendung einer Betonwand mit WDVS wird der Beitrag der Außenwand in der Gesamtbilanz jedoch signifikant sein. Weiterhin hängt die Relevanz von den betrachteten Umweltindikatoren ab. Wenn andere Indikatoren als GWP verwendet werden, könnten die relativen Beiträge anders ausfallen und es könnte sein, dass Bauteile, die bei Betrachtung des GWP relevant sind, bei einem anderen Indikator nicht mehr so stark ins Gewicht fallen.

In der Untersuchung von Weißenberger [15] wurde deutlich, dass ein Großteil aller Bauteile hoch relevant sind, nämlich Innenwände, Fenster, Decken, Dach, Bodenplatte und Außenwände. Dies gilt erstmal für die Hauptkomponenten dieser Bauteile, die eine Relevanz im Hinblick auf die Statik oder den Wärmeschutz haben (z.B. Beton, Ziegel, Holz, Dämmung, usw.). Bei diesen Bauteilen werden jedoch auch Komponenten verwendet, die keinen Einfluss auf die Statik oder den Wärmeschutz haben, wie Verbindungsmittel (Schrauben, Klebstoffe, usw.) und weitere sonstige Komponenten (Innen- und Außenfarbe, Spachtelmaterial, Armierungsgewebe, Schlagdübel, usw.). Am Beispiel einer Außenwand rechnete Weißenberger vor, dass Verbindungsmittel zwischen 2 % und 24 % (im Durchschnitt ca. 9 %) der grauen Aufwendungen der Außenwand ausmachen können und sonstige Bauteilkomponenten zwischen 5 % und 45 %. Farben können u.a. einen hohen Beitrag ausmachen, wie Weißenberger schreibt: *„Zum Beispiel hat alleine der innere und äußere Farbstrich im Lebenszyklus einen Anteil von bis zu 19 % (AP) an der gesamten WDVS-Außenwand (0,12 W/(m²K) mit 24 cm Tragwerk)“*. Außerdem ist der Anteil der sonstigen Bauteile (Farbe, etc) abhängig vom Dämmstandard: *„Über den kompletten U-Wertbereich ist eine fallende Tendenz des Anteils von großen U-Werten zu kleinen erkennbar. Dies ist darauf zurückzuführen, dass „sonstige“ Baukomponenten größtenteils unabhängig vom Baustandard sind: beispielhaft wird ein Außenanstrich (Farbe) bei einer ungedämmten Kalksandsteinwand und bei einer Kalksandsteinwand mit sehr viel Dämmung benötigt“*. Bauteilbezogen sind diese Beiträge signifikant, wobei sie in der Gesamtgebäudebilanz wahrscheinlich nur kleine Anteile ausmachen würden. In einer dänischen Untersuchung [29] wurde der signifikante Unterschied in den grauen Emissionen zwischen kunststoffbasierter und mineralischer Farbe aufgezeigt. Außerdem wurde gezeigt, dass die Datengrundlage für Farbprodukte oft lückenhaft ist, was bedeutet, dass die tatsächlichen Umweltauswirkungen höher ausfallen könnten, wenn alle Effekte vollständig berücksichtigt würden. Es scheint also sinnvoll, diese nicht zu vernachlässigen.

Es wird vorgeschlagen, die Hauptbauteile wie Innenwände, Fenster, Decken, Dach, Bodenplatte und Außenwände detailliert zu berücksichtigen, einschließlich Farben und Belägen. Die Verbindungsmittel sollen vereinfacht berücksichtigt werden. Für die Verbindungsmittel von Außenwänden hat Weißenberger [15] ein vereinfachtes Verfahren vorgeschlagen, welches auf Basis von detaillierten LCA-Berechnungen und vorangegangenen Analysen folgendermaßen formuliert ist:

- *„Zuschlag von 14 % auf die gesamte Außenwand für die Verbindungsmittel für alle U-Wertbereiche von WDVS auf Stein sowie für die monolithische Bauweise und für die Holzrahmenkonstruktion über alle Bewertungsparameter“*

- Zuschlag von nochmals 14 % für Verbindungsmittel für alle U-Wertebereiche für die Bewertungsparameter PE_{ne} und GWP bei der Holzrahmenbauweise, d.h. Zuschlag von 28 % (2x 14 %) auf die gesamte Außenwand bei PE_{ne} und GWP bei der Leichtbauweise
- Exakte Berücksichtigung des Bewehrungsstahls bei Stahlbetonbauteilen.“ Bei einer Ökobilanzierung in der frühen Planungsphase könnte der Stahlanteil zunächst geschätzt werden.

Ein ähnliches Verfahren könnte für alle relevanten Bauteile verwendet werden und erweitert werden.

Was die Quantifizierung der Fundamente betrifft gibt die 18599-Gütegemeinschaft folgende vereinfachte Rechenregel für die Volumermittlung: $V_{\text{Fundament}} = A_{\text{Bodenplatte}} \times \min(1; 0,3m + 0,05m \times n_{\text{Geschosse}})$ [24]

In der Studie von Weißenberger wurde festgestellt, dass die Bauteile Türen, Treppen und Lichtschächte nur geringe Auswirkungen auf die Gesamtbilanz haben und diese daher vernachlässigt werden können¹¹. Allerdings schrieb Weißenberger, dass die Vernachlässigung dieser Elemente nur stattfinden kann, „sofern diese offensichtlich das Ergebnis nicht beeinflussen“ (z.B. bei extrem großen Treppen). Für Treppen gibt die 18599-Gütegemeinschaft die Empfehlung, den Standard-Datensatz für Treppen aus der Ökobaudat zu verwenden "Betonfertigteil Treppe"[24]. Die Stückzahl n_{Treppe} dieser Standard-Treppe sollte im entsprechenden bilanzierten Gebäude wie folgt angepasst werden:

$$n_{\text{Treppe}} = h_{\text{Geschoss}} / 2,88 \times \text{Breite} / 1,1 \times 2 \times n_{\text{Geschoss}}$$

Im Rahmen einer Ökobilanzierung in den frühen Planungsphasen wird daher die folgende Vorgehensweise vorgeschlagen:

- Vernachlässigung von Lichtschächten.
- Außentüren können entweder als Türen, oder vereinfacht als Fensterflächen betrachtet werden.
- Die Auswirkungen von Treppen können entweder vereinfacht, basierend auf dem Standard-Datensatz für Treppen umgerechnet werden, oder noch einfacher als durchgehende Decken berücksichtigt werden.

d. Beschreibung des Vorgehens bei der Berücksichtigung der TGA

Entsprechend der genannten Kostengruppen für die detaillierte Berechnung aus Tabelle 8 umfasst die technische Gebäudeausstattung (TGA) im Detail für das Vorgehen im Lezbau-Tool die folgenden Systeme innerhalb der Gewerke wie in Tabelle 6 beschrieben. Die Auswahl der konkret betrachteten Bereiche kann begrenzt werden, sodass sie die passenden und sinnvollen Systeme für die zu untersuchenden Beispielgebäude gemäß ihren Eigenschaften umfasst.

Tabelle 6: Übersicht über die betrachteten technischen Systeme innerhalb der KG 410-450

Kostengruppe	Systeme	Wird konkret betrachtet
KG 410: Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen	Sanitär	Frischwasserversorgung, Abwasserentsorgung, Grauwasseraufbereitung, Regenwassersammelsysteme
KG 420: Wärmeversorgungsanlagen	Heizung, Solarthermie	Dezentrale und Zentrale Heizsysteme (warmwassergeführt und elektrisch) mit Flächenheizungen und Punktheizungen
KG 430: Raumluftechnische Anlagen	Kühlung, Lüftung	Dezentrale und zentrale Lüftungssysteme mit und ohne WRG und Kühlfunktion, dezentrale und zentrale Klimaanlageanlagen, Fensterlüftung

¹¹ Bei Türen ist hauptsächlich die vergleichsweise geringe Bauteilfläche für die geringe Umweltwirkung verantwortlich.

KG 440: Elektrische Anlagen	Elektrotechnik, PV	Elektroinstallation, Ladestationen, Fernmelde- und Informationstechnik, Notstromversorgungsanlagen, unterbrechungsfreie Stromversorgungsanlagen
KG 450: Kommunikations-, sicherheits- und informationstechnische Anlagen	Fernmelde- und Informationstechnik,	Telefon-, Internet-, TV-, Sprechanlageninstallation
KG 460: Förderanlagen	Aufzüge	Personenaufzüge

Ermittlung der Art der verbauten Komponenten

In jedem dieser Systeme kommen eine Vielzahl von unterschiedlichen Komponenten vor, die einer detaillierten Berücksichtigung in der Lebenszyklusbetrachtung bedürfen. Die Aufstellung einer übersichtlichen Struktur ist wichtiger Teil der Methodik, mit der die Umweltauswirkungen der TGA schließlich zuverlässig bilanzieren werden können.

Die **erste Ebene** dieser Methodik beschreibt das Gewerk, welches sich funktional in der **zweiten Ebene** in die vier Kategorien Erzeugung, Verteilung, Speicherung und Abgabe gliedern lässt. In jeder Kategorie finden sich mehrere mögliche Pakete vor, welche allesamt funktional den Zweck der Kategorie erfüllen können. Diese befinden sich auf der **dritten Ebene**. In Abbildung 13 kommen beispielsweise für die Kategorie „Erzeugung“ unter anderem „Gas-Brennwertgerät“, „Luft-Wasser-Wärmepumpe“ und „Pelletkessel“ infrage, da diese funktional primär der Erzeugung von Wärme dienen. Um schließlich ein funktionierendes Gesamtsystem zu erhalten, braucht es jedoch die jeweils passenden Pakete der anderen Kategorien (Speicherung, Verteilung und Abgabe). Im Beispiel in Abbildung 13 bildet die Summe aller rot markierten Pakete eines von vielen möglichen Systemen innerhalb des Gewerks „Heizung“. Die Eigenschaften des Systems werden grundlegend von den Paketen bestimmt, aus denen es besteht. Das beispielhaft genannte Gesamtsystem trägt demnach den Namen „Gasbrennwertgerät mit Pufferspeicher und Heizkörpern“.

Diese beschriebene Strukturierung kann über alle Gewerke hinweg angewendet werden.

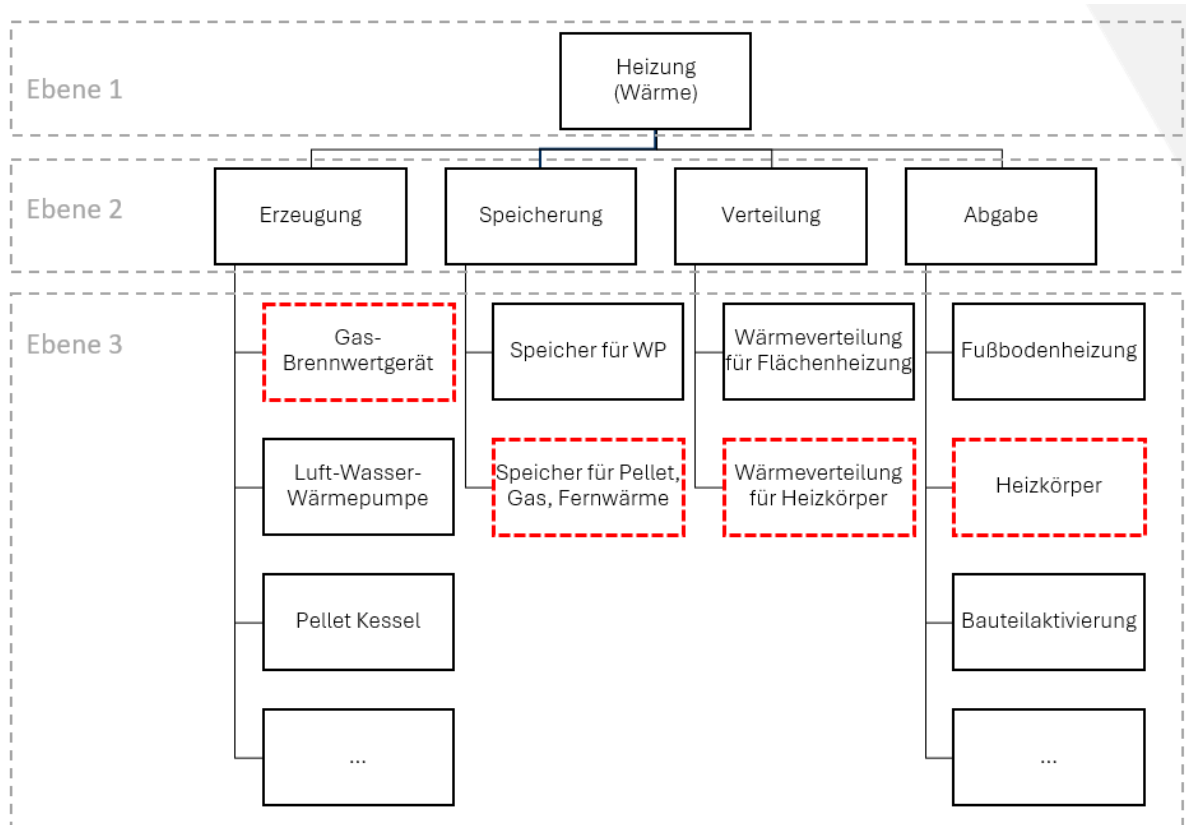


Abbildung 13: Ebene eins bis drei, von Gewerk bis Paket

Um die praktische Funktionalität der gebäudetechnischen Systeme in der Realität sicherzustellen und die Transparenz der Bilanzierungshintergründe zu verbessern, ist es sinnvoll, die Pakete weiter in ihre einzelnen Bestandteile zu zerlegen. Dadurch entsteht eine Übersicht über die einzelnen Komponenten, aus denen ein Paket bzw. das Gesamtsystem besteht. Diese können dann gezielt auf ihre Materialzusammensetzung und entsprechend Umweltauswirkungen untersucht werden. Abbildung 14 zeigt ein Beispiel für die Fortsetzung der Gliederung um die **vierte** und **fünfte** Ebene, der Komponenten- und Materialebene. Die Prozessdatensebene beschreibt die Verknüpfung der Materialien bzw. der Komponente mit dem passenden Prozessdatensatz, mit dem Umweltauswirkungen berechnet werden können. Wenn kein allgemeiner Prozessdatensatz für die gesamte Komponente verfügbar ist, kann für eine vereinfachte Modellierung der Umweltauswirkungen diese Komponente auf Materialebene in bis zu drei Hauptmaterialbestandteile unterteilt werden, die den größten Massenanteil ausmachen.

Als Beispiel wird innerhalb des Systems Heizung und der Kategorie Erzeugung (analog zu Abbildung 13) das Wärmeerzeugersystem „Gas-Brennwertgerät“ dargestellt. Eine Auswahl der Komponenten, die das Paket „Gas-Brennwertgerät“ ausmachen und das Material und der dazugehörige Ökobilanzdatensatz für die Komponente „Gasarmatur“ werden hier als Beispiel weiter hervorgehoben.

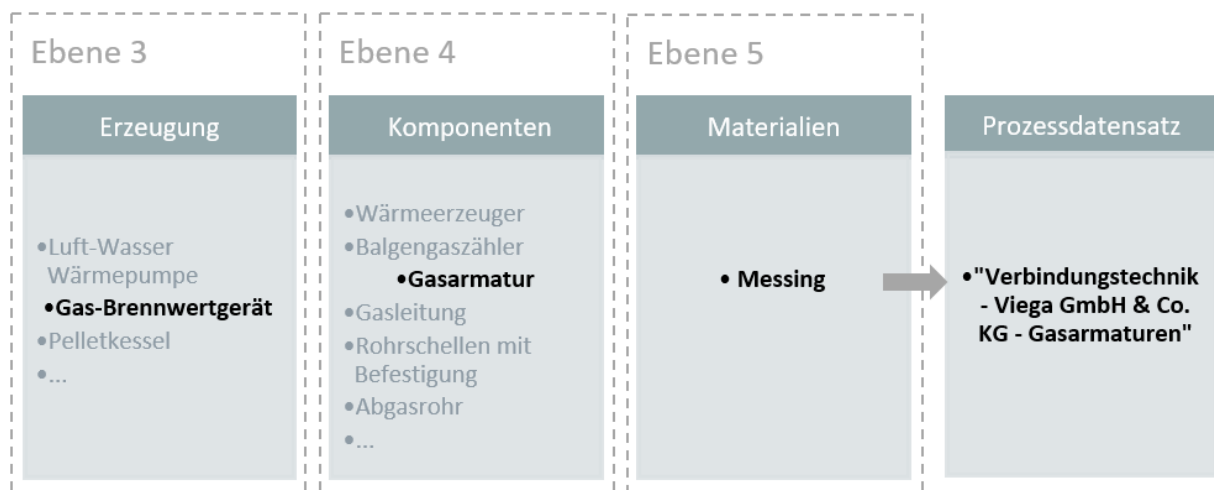


Abbildung 14: Kategorisierung am Beispiel Gas-Brennwertgerät/Gasarmatur innerhalb der KG 410 Wärmeversorgungsanlagen, Ebene drei bis fünf

Klassifizierung der Komponenten

Die Klassifizierung der Komponenten erfolgt gemäß dem von Weißenberger vorgeschlagenen Ansatz, der zwischen Hauptkomponenten und Kleinteilen bzw. Nebenkomponten differenziert [12]. Dabei haben die Ökobilanzwerte der Hauptkomponenten einen signifikanten Einfluss auf die Ökobilanzwerte des Gesamtsystems. Insbesondere wird hier nach dem Anteil des Global Warming Potentials der Komponenten innerhalb eines Paketes unterschieden.

Aus diesem Grund wird für die von Weißenberger bereits identifizierten Hauptkomponenten eine Massen- und Materialbilanz auf detaillierte Art und Weise erstellt. Die Bilanzierung der Nebenkomponten hingegen erfolgt vereinfacht, indem Pauschalisierungen, überschlägige Schätzungen oder vereinfachende Annahmen herangezogen werden. Kleinstkomponenten wie Befestigungsmaterialien werden pauschal berücksichtigt, da eine exakte bzw. vereinfachte Bilanzierung unverhältnismäßig aufwändig wäre und anzunehmen ist, dass diese Information in der frühen Planungsphase ohnehin nicht vorliegt. Ein Aufschlag von 1-5% ist die aktuelle Annahme der Autoren und ist bisher nicht belastbar, daher sollte dieser Wert in zukünftigen Untersuchungen validiert werden.

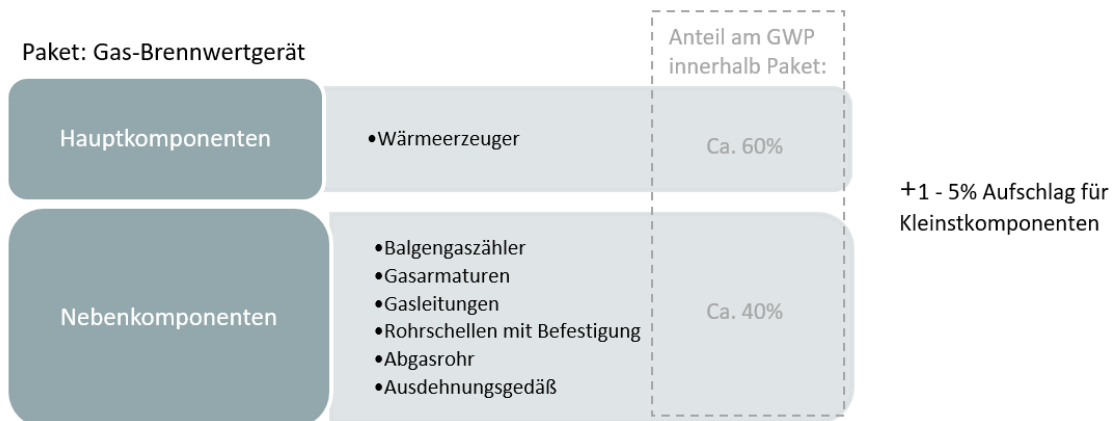


Abbildung 15: Klassifizierung der Komponenten am Beispiel der Erzeugung "Gas-Brennwertgerät", Auswertung eigener Daten auf Grundlage von ÖKOBAUDAT

Ermittlung der verbauten Mengen der Komponenten

Die Mengen der Hauptkomponenten werden durch Auslegungsregeln ermittelt, die sich an gebäudespezifischen Größen und Systemkonzepten orientieren. Diese Auslegungsregeln gelten dabei für Gruppen von Gebäuden, die ähnliche strukturelle und architektonische Merkmale aufweisen, sodass die Regeln innerhalb dieser Gruppen auf die Gebäude übertragen werden können. Insbesondere die Nutzungsart der Gebäude spielt hierbei eine entscheidende Rolle als Gruppierungskriterium. Folgende Gebäudegruppen werden dabei im Rahmen des LezBAU-Tools für die Auslegungsregeln zur Mengenermittlung der Hauptkomponenten näher betrachtet:

- Ein- und Mehrfamilienhäuser;
- Hotels;
- Ausstellungsgebäude;
- Büros;
- Kleine Handwerksbetriebe/ Produktionsgebäude; und
- Schulen, Kindertagesstätten, und Sozialwerkstätten (Lernwerkstatt, Theaterwerkstatt etc.).

Die Grundlage dieser Auslegungsregeln sind Systemkonzepte für jedes Gewerk je Gebäudegruppe und Ausstattungsgrad. Für Leitungen und Rohre werden Verlegungs- und Verteilkonzepte für die jeweiligen Gebäudegruppen angenommen, welchen die in der Praxis bewährten Ansätze zu Grunde legen. Diese Konzepte sind so gewählt, dass theoretisch eine effiziente und kostengünstige Installation der Komponenten möglich wäre und die Funktionalität des Systems sichergestellt wird. Nicht immer ist jedoch ein Verteil- bzw. Systemkonzept bei allen Gebäuden innerhalb der Gebäudegruppe uneingeschränkt sinnvoll. In Einzelfällen muss das Verteilkonzept angepasst werden, wenn ein Gebäude im Vergleich zu den anderen Gebäuden in der Gruppe beispielsweise eine stark abweichende Brutto-Grundfläche, Gebäudegeometrie oder Grundrissstruktur aufweist.

Folgendes Beispiel in Abbildung 16 zeigt das angenommene Verteilkonzept in einem Einfamilienhaus für ein System „Gas-Brennwertgerät mit Heizkörpern“.

Das Grundkonzept der Verteilung folgt dem Prinzip der Ringverteilung, wobei angenommen wird, dass der Erzeuger im Keller positioniert ist und die Heizkörper in Räumen mit Fenstern unterhalb der Fenster sitzen, andernfalls wird ein Heizkörper pro Raum angenommen. Bei den Leitungen kann zwischen Steigleitungen, Verteilleitungen und Anbindeleitungen (verlaufen entlang der Innenseite der Außenwände des Gebäudes) unterschieden werden, welche jeweils als eigene Komponenten angesehen werden.

Zusätzlich zum Grundkonzept der Verteilung gelten einzelne Einschränkungen für Sonderfälle. Dies betrifft im folgenden Beispiel z.B. die Anzahl der Steigzonen, was die Menge und Position der Steigleitungen betreffen würde.

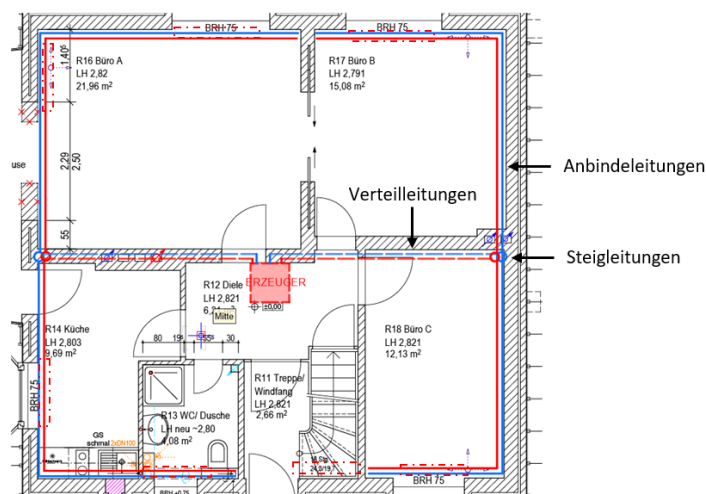


Abbildung 16: Beispielhaftes Heizungsverteilkonzept in einem EFH

Über die Annahmen, die für die Verteil- und Verlegungsprinzipien getroffen werden und spezifische Gebäudegrößen lässt sich schließlich strukturiert auf die Menge der jeweiligen Komponenten schließen.

Die Auslegungsregeln werden jeweils so für einzelne Komponenten festgelegt, dass sie ihren jeweiligen Eigenschaften und den Bemessungseinheiten der passenden Ökobilanzdatensätze gerecht werden. So werden z.B. Leitungen in Laufmetern, Wärmeerzeugungsgeräte in kW Leistung oder Pumpen und Ventile in ihrer Stückzahl erfasst, wie in Tabelle 7 beispielhaft dargestellt ist.

Tabelle 7: Beispiele für Auslegungsregeln anhand des Pakets "Gas-Brennwertgerät"

Komponente	Auslegungsregel	Hinweis	kg je Einheit
Wärmeerzeugungsgerät	3,3 kg * Heizlast in kW	Verhältnis von Gewicht und Leistung kann als lineare Entwicklung dargestellt werden	3,3 kg/kW
Balgengaszähler	Pauschal 1 Stk. je Gerät		2,84 kg/Stk.
Gasarmatur DN15/20	Pauschal 1 Stk. je Gerät	Wenn das Wärmeerzeugungsgerät weniger als 10kW Leistung aufweist	0,51 kg/Stk.
Gasarmatur DN 25/32	Pauschal 1 Stk. je Gerät	Wenn das Wärmeerzeugungsgerät mehr als 10kW Leistung aufweist	1,08 kg/Stk.
Gasleitung DN 15	2 m * Anzahl Geräte	Leitung zwischen Gaszähler und Gerät bis 10kW, pauschal 2m	0,26 kg/m
Gasleitung DN 20	2 m * Anzahl Geräte	Leitung zwischen Gaszähler und Gerät ab 10kW, pauschal 2m	0,47 kg/m
Gasleitung DN 25	1 m * Anzahl Geräte	Leitung zwischen Gaszufuhr und Gaszähler, pauschal 1m	0,58 kg/m
Rohrschellen mit Befestigung	1 Stk. * Summe der Länge aller Gasleitungen		0,06 kg/Stk
Abgasrohr LAS DN 80/100	5 m * Anzahl Geräte	Pauschal 5m für Direktabführung	2,4 kg/m

Ausdehnungsgefäß	18 Liter	Pauschale Annahme: bis 25kW	0,2 kg/l
Ausdehnungsgefäß	25 Liter	Pauschale Annahme: ab 25kW	0,2 kg/l

Gleichzeitig besteht die Notwendigkeit, beim Anlegen der Berechnungsregeln zu berücksichtigen, dass im Falle einer Skalierung des Gebäudes ebenfalls die Skalierung der Gebäudetechnikkomponenten, wenn auch in Grenzen, erfolgen soll. Einschränkungen, wie z.B. die Grenzen der Funktionstüchtigkeit der Systeme, sofern beispielsweise eine bestimmte Gebäudegröße überschritten wird, müssen entsprechend berücksichtigt werden. Die Systeme bedürfen in solchen Fällen einer Anpassung der Art und Menge der Komponenten, um eben diese theoretische Funktionstüchtigkeit sicherzustellen.

e. Zwischenfazit - Vorschlag für die Berücksichtigung von Bauteilen und TGA

Zusammenfassend sind die relevantesten Bauteile und TGA-Komponenten in Tabelle 8 dargestellt. Um ein vollständiges Bild von den unterschiedlichen Gebäudeelementen und -prozessen zu erhalten, wurde die Aufteilung gemäß den Kostengruppen der DIN 276 übernommen. Im Bereich der Bauteile (KG 300) stehen insbesondere Hauptkomponenten wie Böden, strukturelle Elemente, Außenwände, Fenster, Dächer, Geschossdecken und Bodenplatten im Fokus. Diese tragen maßgeblich zu den Umweltwirkungen eines Gebäudes bei. Auch innere Bauteile wie Innen- und Trennwände werden einbezogen, da ihre Emissionsbeiträge trotz geringerer Relevanz nicht vernachlässigt werden dürfen. Verbindungsmittel wie Schrauben und Klebstoffe sowie sonstige Komponenten wie Farben, Spachtelmaterialien und Armierungsgewebe spielen ebenfalls eine Rolle, insbesondere bei Außenwänden. Bei diesen vielfältigen Kleinkomponenten können Ansätze auf Basis Literaturwerte angewendet werden, um eine vereinfachte Betrachtung zu ermöglichen.

Im Bereich der TGA (KG 400) wird eine Vielzahl von Systemen betrachtet, darunter Sanitärtechnik, Wärmeversorgung, Lüftungstechnik, Elektrotechnik und Förderanlagen wie Aufzüge. Nach verschiedenen Untersuchungen können die grauen Emissionen der TGA bis zu ca. 40% der gesamten grauen Emissionen eines Gebäudes ausmachen, was die Notwendigkeit unterstreicht, diese Komponenten sorgfältig zu berücksichtigen. Dabei werden im Rahmen von LezBAU Auslegungsregeln entwickelt, um die Komplexität der TGA vereinfacht für die frühe Planungsphase abbilden zu können.

Zusammenfassend zeigt die Untersuchung, dass nahezu alle Bauteile und TGA-Komponenten relevante Umweltbeiträge leisten können und in einer Ökobilanz umfassend betrachtet werden sollten. Hauptkomponenten wie Wände, Dächer oder Wärmeerzeuger sind detailliert zu analysieren, während Kleinteile vereinfachend einbezogen werden können. Dies ermöglicht eine praxisnahe und dennoch präzise Bewertung der Umweltwirkungen eines Gebäudes.

Tabelle 8: Relevante Bauteile und Anlagentechnik-Komponenten für LezBAU, unterteilt nach Kostengruppen gemäß DIN 276

	Kostengruppe nach DIN 276	Komponente
Bauteile	320	Gründung, Unterbau
	330	Außenwände/Vertikale Baukonstruktionen, außen
	340	Innenwände/Vertikale Baukonstruktionen, innen
	350	Decken/Horizontale Baukonstruktionen
	360	Dächer
TGA	410	Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen
	420	Wärmeversorgungsanlagen
	430	Raumlufttechnische Anlagen
	440	Elektrische Anlagen
	450	Kommunikations-, sicherheits- und informationstechnische Anlagen
	460	Förderanlagen

5. Weiteren Randbedingungen

Neben den relevanten Bauteilen und Lebenszyklusphasen müssen auch bei der Konzipierung des LezBAU-Tools weitere Randbedingungen geklärt werden. In der BBSR-Studie „Klimaschutz im Gebäudebereich“ wurde eine tabellarische Zusammenfassung der wichtigsten Randbedingungen vorgeschlagen und am Beispiel des QNG-Zertifizierungssystems ausgefüllt [9]. Diese sind auf Tabelle 9 auf der nächsten Seite zu finden.

Als wichtige Randbedingung wird eine dynamische Ökobilanzierung vorgeschlagen. Dieser Ansatz unterscheidet sich von der statischen Bilanzierung darin, dass die Bilanz des Gebäudes für jedes Jahr über den gesamten Betrachtungszeitraum berechnet wird. Dabei verändern sich verschiedene Parameter im Laufe der Zeit: das typische Klima infolge des Klimawandels, die Dekarbonisierung des deutschen Strommix sowie typischerweise angenommene Fernwärmemixe im Zuge der Energiewende, ebenso wie die Hintergrundprozesse zur Herstellung und zum Transport von modernisierten, dekarbonisierten Komponenten. Für die Dynamisierung dieser Parameter können vereinfachte Ansätze aus der Literatur verwendet werden [7]. Für den Fall, dass eine solche Dynamisierung z.B. im QNG-System implementiert wird, könnte auf ein solches System gesetzt werden.

Tabelle 9: Systemgrenzen für LezBAU, angepasst auf Basis [7]

Teilaspekt	QNG 2021	Vorschlag	Kommentaren
Indikator	GWP100 total	GWP100 und Primärenergie (PEges)	Bei GWP: Unterscheidung zwischen biogenic und luluc. Weitere ökobaudat Indikatoren könnten zukünftig im Experten-Modus berücksichtigt werden, sowie Land Use Change und Kostenindikatoren
Charakterisierungsfaktoren	IPCC	IPCC	Umrechnung TH-Gase in CO _{2eq}
Bezügen der Rechenregeln zu Normen	EN 15643; EN 15978-1	EN 15643; EN 15978-1	
Gebäude- und Nutzungsart	Wohngebäude und Nichtwohngebäude	Wohngebäude und Nichtwohngebäude, Neubau und Sanierung	
Standort	Deutschland (für gebäudenaher PV lokaler Standort)	Deutschland, lokaler Standort (Potsdam als Referenz-Standort)	
Betrachtungszeitraum	50 Jahre	50 Jahre	Ggf. variablen Betrachtungszeitraum der LCA im Experten-Modus, z.B. 80 Jahre ermöglichen.
Bezugsgröße(n)	Netto-Raumfläche NRF	EBF (Nutzenergiebilanz) sowie NRF (Ökobilanz)	Mehrere Bezugsflächen sollen angeboten werden, Orientierung nach BKl
Abschneidekriterien KG 300	Baumaterialien kleiner 1%	Berücksichtigung Hauptbauteile, Verbindungsmittel und Farbe	Definition als Elemente
Umgang mit dem Keller	berücksichtigt	berücksichtigt	
Erfassung KG 400	Sockelbetrag + Großgeräte	Sie Abschnitt 4.d.	Produktionsprozesse/Geräte, speziellen Anwendungen, werden nicht berücksichtigt, keine Haushaltsgeräte
Einbeziehung von Teilen der KG 500	ja	Ja – Ausgewählte Teile (z.B. PV / WP vor dem Haus) ¹²	
Einbeziehung von B6	B6.1 und B6.3	B6.1, B6.2 und B6.3	PV- Nutzerstrombedarf muss abgeschätzt werden
Umgang mit PV-Anlage, soweit vorhanden	anteilige Zuordnung zum Gebäude	anteilige Zuordnung zum Gebäude	Separate Berechnung der komplette PV-Anlage, Berücksichtigung der Standort
Umgang mit Stromspeicher, soweit vorhanden	volle Zuordnung zum Gebäude	volle Zuordnung zum Gebäude	variable Zuordnungsfaktor von 100% einbauen
Art der Einspeisung, soweit vorhanden (Speicher)	netzdienlich	Überschusseinspeisung	
Datengrundlage für Bauprodukte, Bauteile, Anlagen (frühe Planungsphase)	Rechenwerte ÖKOBAUDAT 21	Rechenwerte aktuelle ÖKOBAUDAT	
Datengrundlage für Emissionsfaktoren (frühe Planungsphase)	Rechenwerte ÖKOBAUDAT 21	Rechenwerte aktuelle ÖKOBAUDAT	Expertenmodus: Faktoren aus GEG
Lebensdauern von Bauteilen und Anlagen	Lebensdauertabelle der BBSR	Lebensdauertabelle BBSR ggf.Studie der ETH Zürich	Auswahl in LezBAU Tool (Expertenmodus) ermöglichen
Instandhaltungsszenario	planmäßige Instandhaltung	planmäßige Instandhaltung	
Rückbauszenario	selektiver Rückbau	selektiver Rückbau	

¹² Im Rahmen von LezBAU soll folgende Aussage zu KG 500 gelten: „Sollten ausgewählte Anlagen außerhalb des Gebäudes aufgestellt werden und damit der KG 500 zuzuordnen sein ist sinngemäß wie mit Anlagen der KG 400 zu verfahren.“

(Fortsetzung): Systemgrenzen für LezBAU, angepasst auf Basis [7]

Teilaspekt	QNG 2021	Auswahl für LezBAU	Kommentaren
Umgang mit Veränderungen in der Baustoffproduktion	statisch	statisch (dynamisch, soweit vorhandenen Daten, bzw. vorsehen, wenn Daten verfügbar werden), keine eigenen dynamischen Materialkennwerte in LezBAU entwickeln	Dynamik Klimadaten vorsehen? -> Benchmarks Kühlung, Muss aktive Kühlung eingebracht werden?
Umgang mit Veränderungen in der Energieversorgung	statisch	statisch und dynamisch	Szenarien für zukünftige Strommixe aus der Literatur
Umgang mit Veränderung des Klimas	statisch	statisch (dynamisch, soweit vorhandenen Daten, bzw. vorsehen, wenn Daten verfügbar werden)	Dynamische Klimadaten würden vor allem Stromverbäuche für aktive Kühlung im Sommer betreffen
Umgang mit potenziell vermiedenen Emissionen	Zusatzangabe	Zusatzangabe	Modul D wird separat dargestellt
Physische Diskontierung von Emissionen	keine	keine	
Zulässige Kompensationsmöglichkeiten	keine	keine	
Effekte des Bezugs von Ökostrom	nicht berücksichtigt	nicht berücksichtigt	
Effekte von Quartierslösungen	nicht berücksichtigt	nicht berücksichtigt	
Systemgrenze für Produktion erneuerbarer Energie	Grundstücksgrenze	Grundstücksgrenze	Systematik überlegen für Großherzeugern und Gebäudegruppen, Aufteilung der Stromerzeugung

Fazit

Im Rahmen des Projekts LezBAU wurde eine umfassende Untersuchung zu den relevanten Lebenszyklusphasen und Gebäudekomponenten durchgeführt, die für eine effiziente und praxisorientierte Lebenszyklusanalyse (LCA) von Gebäuden in frühen Planungsphasen notwendig sind. Ziel ist es, ein Tool zu schaffen, das sowohl praktikabel als auch wissenschaftlich fundiert ist und einen Beitrag zu nachhaltigen Gebäuden leisten kann.

Die Ergebnisse der Literaturrecherche und Analyse haben gezeigt, dass die grauen Aufwendungen von Gebäuden einen immer größeren Anteil an den gesamten Umweltauswirkungen ausmachen. Während früher der Fokus hauptsächlich auf den betriebsbedingten Emissionen lag, verschiebt sich das Augenmerk zunehmend auf die Emissionen, die in der Produktions- und Bauphase entstehen.

Die Definition der Systemgrenzen ist bei der LCA von entscheidender Bedeutung, da sie die Ergebnisse stark beeinflussen kann. Je nach gewählten Gebäudekomponenten und einbezogenen Lebenszyklusphasen variieren die Ergebnisse der Ökobilanzierung erheblich. Es wurde deutlich, dass Phasen wie die Materialherstellung (A1-A3), der Energieeinsatz während des Betriebs (B6) sowie der Rückbau und die Entsorgung (C3-C4) stets einen erheblichen Einfluss auf die Umweltbilanz eines Gebäudes haben und daher detailliert berücksichtigt werden sollten. Andere Phasen, wie der Transport von Materialien zur Baustelle (A4) oder die Nutzung von Bauprodukten (B1), haben je nach Gebäudetyp und Bauweise nur einen geringen Einfluss und können in vereinfachter Form oder pauschal berechnet werden.

Die Untersuchung hat gezeigt, dass bestimmte Bauteile wie die Gebäudehülle, Fenster, Dächer und Bodenplatten einen besonders hohen Anteil an den gesamten Umweltwirkungen eines Gebäudes aufweisen. Daher ist es wichtig, diese Bauteile in der Analyse detailliert zu berücksichtigen. Auch die TGA-Komponenten, wie Wärme- und Kälteerzeugung, Sanitär, Elektrotechnik und Aufzüge, sind von Bedeutung, da sie bis zu 40 % der gesamten grauen Emissionen eines Gebäudes ausmachen können. Um diese vielfältigen Komponenten angemessen zu berücksichtigen, werden im Rahmen des Projekts Auslegungsregeln für eine vereinfachte Betrachtung ihrer Umweltauswirkungen entwickelt. Zusammenfassend sind die im Rahmen von LezBAU vorgeschlagenen Lebenszyklusphasen in Tabelle 4 sowie die vorgeschlagenen Gebäudekomponenten in Tabelle 8 dargestellt.

Literatur

- [1] S. Idler, „Graue Energie im Ordnungsrecht/Förderung“, 2019.
- [2] G. Habert u. a., „Carbon budgets for buildings: harmonising temporal, spatial and sectoral dimensions“, *Buildings and Cities*, Bd. 1, Nr. 1, S. 429–452, Juli 2020, doi: 10.5334/bc.47.
- [3] Kommission SIA 2040, „SIA Merkblatt 2040 SIA-Effizienzpfad Energie“, 2017.
- [4] M. Röck u. a., „Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation“, *Applied Energy*, Bd. 258, S. 114107, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.114107.
- [5] P. Astle, L. Gibbons, und A. Eriksen, „Comparing differences in building life cycle assessment methodologies“, Ramboll, Juni 2023.
- [6] R. Frischknecht u. a., „Comparison of the greenhouse gas emissions of a high-rise residential building assessed with different national LCA approaches – IEA EBC Annex 72“, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, Bd. 588, Nr. 2, S. 022029, Nov. 2020, doi: 10.1088/1755-1315/588/2/022029.
- [7] T. Lützkendorf u. a., „Context-specific assessment methods for life cycle-related environmental impacts caused by buildings“, Zenodo, Feb. 2023. doi: 10.5281/ZENODO.7468316.
- [8] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, Hrsg., „QNG Handbuch - Anlage 3 - Anhang 3.1.1 - Bilanzierungsregeln des QNG für Wohngebäude“. 19. Juli 2024. Zugegriffen: 26. November 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.qng.info/qng/qng-anforderungen/qng-siegeldokumente/>
- [9] T. Lützkendorf, „Klimaschutz im Gebäudebereich“, BBSR, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2021/bbsr-online-33-2021.html>
- [10] M. Röck u. a., „Towards embodied carbon benchmarks for buildings in Europe“, Zenodo, März 2022. doi: 10.5281/ZENODO.6120522.
- [11] L. Delem, L. Wastiels, und J. V. Dessel, „ASSESSING THE CONSTRUCTION PHASE IN BUILDING LIFE CYCLE ASSESSMENT“, 2013.
- [12] Maierhofer, D., Hoxha, E., und Passer, A., „Ökobilanz des Electronics Based Systems Building an der Technischen Universität Graz“, doi: 10.3217/978-3-85125-786-1-29.
- [13] G. A. Blengini und T. Di Carlo, „The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings“, *Energy and Buildings*, Bd. 42, Nr. 6, S. 869–880, Juni 2010, doi: 10.1016/j.enbuild.2009.12.009.
- [14] M. Paleari, M. Lavagna, und A. Campioli, „The assessment of the relevance of building components and life phases for the environmental profile of nearly zero-energy buildings: life cycle assessment of a multifamily building in Italy“, *Int J Life Cycle Assess*, Bd. 21, Nr. 12, S. 1667–1690, Dez. 2016, doi: 10.1007/s11367-016-1133-6.
- [15] M. N. Weißenberger, „Lebenszyklusorientierte Analyse der ökologischen Eigenschaften von Niedrigstenergiewohngebäuden unter besonderer Berücksichtigung der Gebäudetechnik“, Dissertation, mediaTUM - Dokumenten- und Publikationsserver der Technischen Universität München, 2016. doi: 10.14459/2016MD1325463.
- [16] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, „QNG Anhangdokument 3.1.1 LCA-Bilanzregeln Wohngebäude“, 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.qng.info/service/>
- [17] DGNB, „DGNB System – Kriterienkatalog Gebäude Neubau - ENV 1.1 Ökobilanz des Gebäudes“, 2018. [Online]. Verfügbar unter: https://static.dgnb.de/fileadmin/dgnb-system/de/gebaeude/neubau/kriterien/02_ENV1.1_Oekobilanz-des-Gebaeudes.pdf
- [18] M. K. Wiik, S. M. Fufa, T. Kristjansdottir, und I. Andresen, „Lessons learnt from embodied GHG emission calculations in zero emission buildings (ZEBs) from the Norwegian ZEB research centre“, *Energy and Buildings*, Bd. 165, S. 25–34, Apr. 2018, doi: 10.1016/j.enbuild.2018.01.025.
- [19] S. M. Fufa, M. K. Wiik, S. Mellegård, und I. Andresen, „Lessons learnt from the design and construction strategies of two Norwegian low emission construction sites“, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, Bd. 352, Nr. 1, S. 012021, Okt. 2019, doi: 10.1088/1755-1315/352/1/012021.

- [20] B. Wittstock u. a., „EeBGuide Guidance Document - Part B: Buildings - Operational guidance for life-cycle assessment studies of the energy-efficient buildings initiative“, European Commission, 2011.
- [21] C. Vering, D. Schwarz, P. Stefaniak, V. Venzik, und D. Müller, „Kältemittel in Wärmepumpen für die Gebäudeheizung: Ökologische Auswirkungen im gesamten Lebenszyklus“, *Chemie Ingenieur Technik*, Bd. 94, Nr. 4, S. 542–554, Apr. 2022, doi: 10.1002/cite.202100016.
- [22] N. Francart und T. Malmqvist, „Investigation of maintenance and replacement of materials in building LCA“, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, Bd. 588, Nr. 3, S. 032027, Nov. 2020, doi: 10.1088/1755-1315/588/3/032027.
- [23] K. Goulouti u. a., „Dataset of service life data for 100 building elements and technical systems including their descriptive statistics and fitting to lognormal distribution“, *Data in Brief*, Bd. 36, S. 107062, Juni 2021, doi: 10.1016/j.dib.2021.107062.
- [24] W. Schöffel und V. Drusche, „Bericht Teilprojekt Qualitätssicherung von LCA Software – Teil 2 Anforderungsprofil und Validierung“, 18599-Gütegemeinschaft e.V. ; BBSR, Energie Effizienz Institut, 2023.
- [25] BMWi, „Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand“, 2021.
- [26] A. Hollberg, T. Lützkendorf, und G. Habert, „Top-down or bottom-up? How environmental benchmarks can support the design process“, *Building and Environment*, Bd. 153, S. 148–157, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.buildenv.2019.02.026.
- [27] M. Röck u. a., „A Global Database on Whole Life Carbon, Energy and Material Intensity of Buildings(CarbEn-Mats-Buildings)“, 22. September 2023. doi: 10.21203/rs.3.rs-3373442/v1.
- [28] D. Bionda, G. Settembrini, und S. Domingo, „SYGREN - Systemkennwerte Graue Energie Gebäudetechnik“, Bundesamt für Energie BFE, Schweiz, 2021.
- [29] J. Uggerhøj Kornerup, M. Lewis, und S. Willum Foltinger, „Climate Impact of Indoor Paint“, Henning Larsen Architects, 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://brandcentral.ramboll.com/share/mPyia7qmVPP4AG-SYeYXv>

Anhang 1 – Vergleich internationalen Systemgrenzen

Tabelle 10: Internationaler Vergleich der Berücksichtigung von Bauteilen und Anlagentechnik in Gebäude-LCA [5]

Building elements included according to LCA methodologies	Level of detail varies between schemes										Level of detail varies between schemes													
	Standard Foundations	Specialist Foundations	Lowest Floor	Construction	Basement Excavation	Basement Retaining Walls	Frame Columns, Beams, Load-Bearing Walls	Upper Floors	Balconies	Roof Structure	External Walls	Roof Lights, Skylights and Openings	Windows	External Doors	Internal Walls and Partitions	Superstructure (Internal Elements)	Stairs and Ramps	Wall Finishes	Floor Finishes	Ceiling Finishes	Building Services/MEP	Fittings, Furnishings and Equipment	External Works	
Denmark Building Regulations (BR18) Voluntary Sustainability Class DGNB-DK	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Germany DGNB	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Finland Climate Declaration RTS	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Sweden Miljöbyggnad 3.0-3-1 Miljöbyggnad 3.2 Miljöbyggnad 4.0 Klimatdeklaration 2022 Klimatdeklaration 2027 BREEAM-SE 2017	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Netherlands NolCO2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Europe Level(s) Reporting Option 1 & 2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Norway TEK17 BREEAM-NOR 2016 BREEAM-NOR v6.0 Futurebuilt Zero	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
United Kingdom BREEAM NC 2018 RICS London Plan WLCA 2022	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Netherlands MPG, BREEAM NL & GPR	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
International BREEAM International New construction V6 LEED V4.1	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

● Required ● Optional ○ To be defined

¹ Included only if part of the horizontal structure, ² Not included in assessment of GHG-reduction, ³ Solar panel installations are mandatory to include. Figure 3: Comparison of building element groups by life cycle assessment, by country.

Tabelle 12: Internationaler Vergleich der Berücksichtigung von Umweltindikatoren in Gebäude-LCA [5]

Impact categories included according to LCA methodologies	Reference study period	Environment					Abiotic depletion				Resources				
		GWP (kg CO ₂ -eq)	ODP (kg CFC-11-eq)	POCP (kg Ethene-eq)	AP (kg SO ₂ -eq)	EP (kg PO ₄ -eq)	Abiotic Depletion, Minerals and Metals (kg Sb-eq)	ADPF (Abiotic Depletion, Fossil Fuels (MJ))	PE _{net} (Total use of energy (MJ))	FW (Use of net fresh water (m ³))	WP (Waste processing)				
Denmark															
Building Regulations (BR18)	50	●													
Voluntary Sustainability Class	50	●	●	●	●	●									
DGNB-DK	50	●	●	●	●	●									
Germany															
DGNB	50	●	●	●	●	●									
Finland															
Climate Declaration	50	●													
RTS	50	●													
Sweden															
Miljöbyggnad 3.0-3-1	n/a	●													
Miljöbyggnad 3.2	n/a	●													
Miljöbyggnad 4.0	n/a	●													
Klimatdeklaration 2022	n/a	●													
Klimatdeklaration 2027	50	●													
BREEAM-SE 2017 ¹	60	●	●	●	●	●									
NollCO2	50	●													
Europe															
Level(s) Reporting Option 1 & 2	50	●	●	●	●	●									
Norway															
TEK17	50	●													
BREEAM-NOR 2016 ¹	60	●	●	●	●	●									
BREEAM-NOR v6.0 ¹	60	●	●	●	●	●									
Futurebuilt Zero	60	●	●	●	●	●									
United Kingdom															
BREEAM NC 2018 ¹	60	●	●	●	●	●									
RICS	60	●	●	●	●	●									
London Plan WLCA 2022	60	●	●	●	●	●									
Netherlands															
MPG, BREEAM NL & GPR	75 for homes 50 for offices	●	●	●	●	●									
International															
BREEAM International New construction V6 ¹	60	●	●	●	●	●									
LEED V4.1	60	●	●	●	●	●									

¹ More points possible by assessing FW or WP and any two other impact categories

² Separately required (other legislation), called 'BENG'

Figure 5: Comparison of impact categories of life cycle assessments

● Required ● Optional

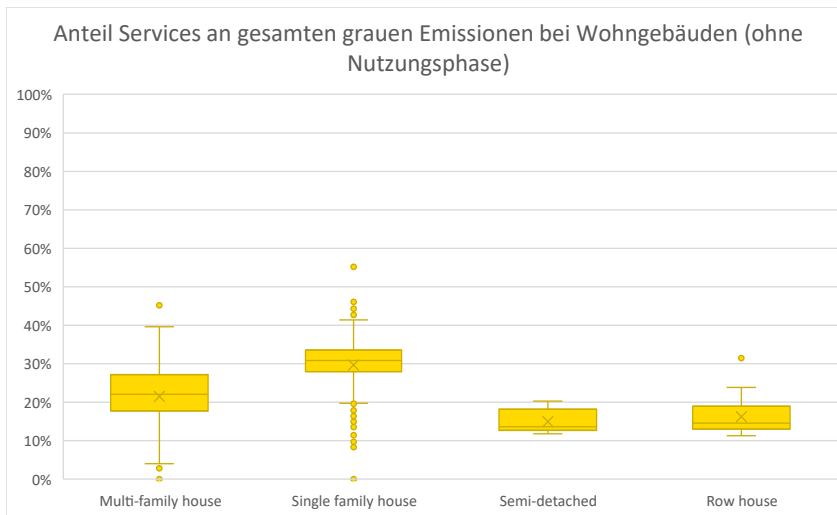
Anhang 2 – Auswertung der CarbEnMats-Datenbank

Die CarbEnMats-Datenbank¹³ enthält Informationen zu über 1.200 Gebäude-Fallstudien. Sie bietet Einblicke in den Kontext und Standort, die Energieeffizienz, die Materialintensität sowie die Treibhausgasemissionen in den verschiedenen Lebenszyklusphasen eines Gebäudes. Die Daten wurden durch verschiedene Metastudien erhoben und kombinieren Informationen sowohl aus wissenschaftlicher Literatur als auch aus Industriequellen.

Die Gebäudekomponenten wurden wie folgt gruppiert:

- Ground: Unterbau, Fundament, Kellerwände usw.
- Load-bearing structure: Tragende Struktur, d. h. tragendes Gerüst, Wände, Böden, Dächer usw.
- Envelope: Hülle, d. h. Öffnungen, äußere Oberflächen usw.
- Internal: Innenausbau, d. h. Trennwände, Innenoberflächen usw.
- Services: Technische Anlagen, d. h. mechanische Komponenten, Elektrotechnik, erneuerbare Energien usw.
- Appliances: Ausstattung, d. h. feste Einrichtungen, mobile Ausstattungen usw.

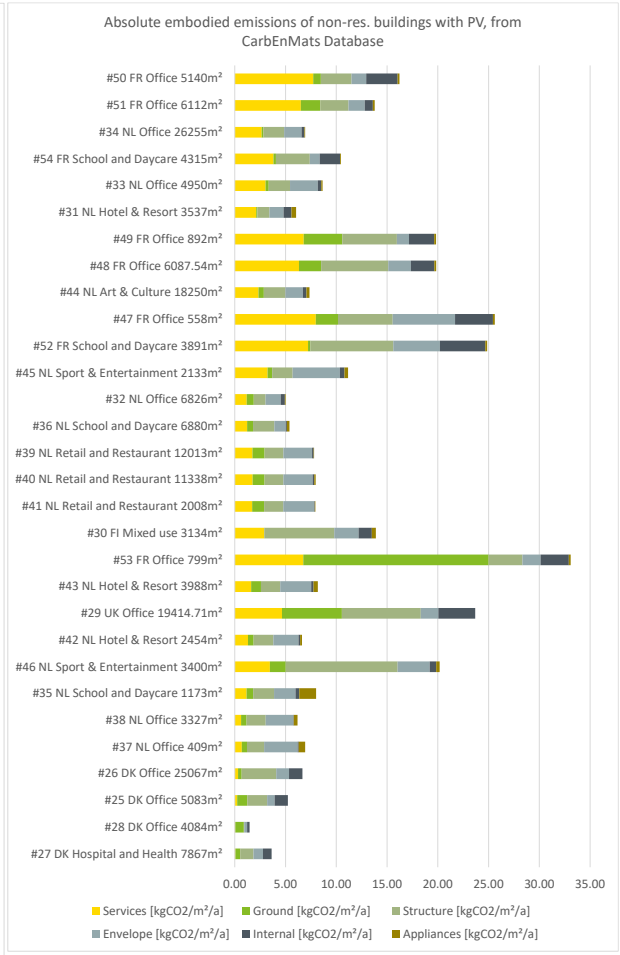
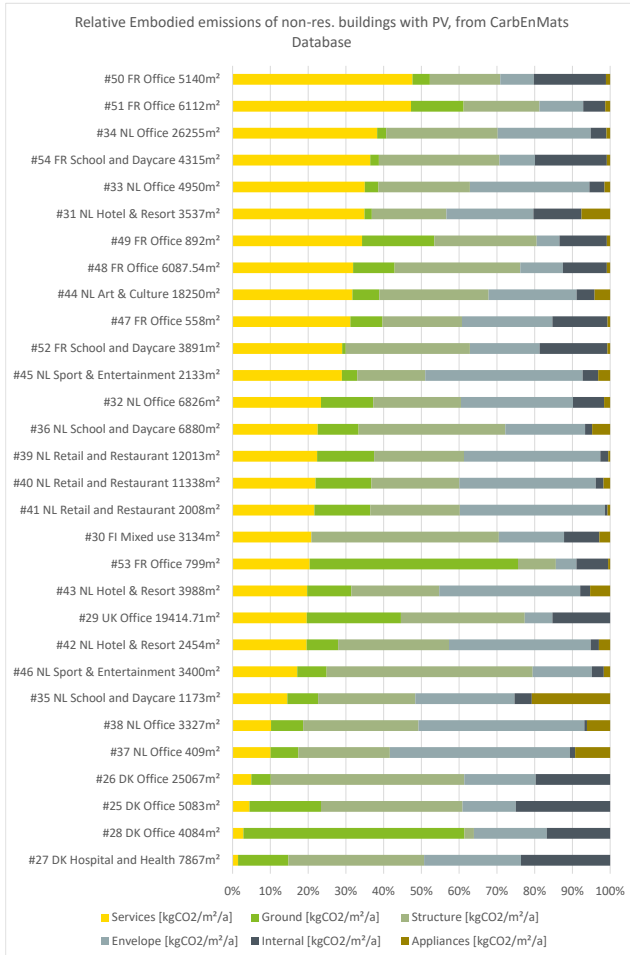
Anteil der TGA an den gesamten grauen Aufwendungen bei Wohngebäuden



	N
Multi-family house	184
Single family house	379
Semi-detached	19
Row house	28

¹³ <https://github.com/mroeck/carbenmats-buildings>
<https://www.researchsquare.com/article/rs-3373442/v1>

Anteil der TGA an den gesamten grauen Aufwendungen bei Nichtwohngebäuden mit PV



Anteil der TGA an den gesamten grauen Aufwendungen bei Nichtwohngebäuden ohne PV



Anteil der TGA an den gesamten grauen Aufwendungen bei Bürogebäude und Schulen

