



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



BBSR-
Online-Publikation
44/2023

Ökobilanzielle Bewertung im Ordnungsrecht

von

Sabine Dorn-Pfahler
Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Lützkendorf

Ökobilanzielle Bewertung im Ordnungsrecht

Grundlagen und erste Ansätze zur vereinfachten Bewertung
von Gebäuden mit angewandten Ökobilanzen

Das Projekt des Forschungsprogramms „Zukunft Bau“ wurde vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) durchgeführt.

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn

Wissenschaftliche Begleitung

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
Referat WB 2 „Instrumente zur Emissionsminderung im Gebäudebereich“
Andrea Vilz
andrea.vilz@bbr.bund.de

Autorinnen und Autoren

Sabine Dorn-Pfahler
Löhnert|Dorn-Pfahler|Dalkowski Architekt & Ingenieure PartGmbH, Berlin
dorn@solidar-pw.de

Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Lützkendorf
Bau-, Energie- und Umweltberatung Weimar
thomas.luetzkendorf@kit.edu

unter Mitwirkung von:
Martin Zeumer, Christina Werner
ee concept GmbH, Darmstadt
Andreas Dalkowski
Löhnert|Dorn-Pfahler|Dalkowski Architekt & Ingenieure PartGmbH, Berlin

Stand

Oktober 2023

Satz und Layout

Miriam Bussmann

Bildnachweis

Titelbild: Schreinerei Friedrich GmbH

Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Zitierweise

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.):
Ökobilanzielle Bewertung im Ordnungsrecht: Grundlagen und erste Ansätze zur vereinfachten Bewertung von Gebäuden mit
angewandten Ökobilanzen. BBSR-Online-Publikation 44/2023.

Inhaltsverzeichnis

1 Hintergrund	5
1.1 Aufgabenstellung	5
1.2 Politische Ziele	6
1.3 Notwendigkeit der Lebenszyklusbetrachtung	9
1.4 Treibhauspotenzial als Indikator	12
2 Ausgangslage	14
2.1 Normative Grundlagen	14
2.2 Situation in Deutschland	18
2.3 Situation im Ausland	19
2.4 Zusammenfassung	23
3 Vorschlag zum möglichen Vorgehen	25
3.1 Vorüberlegungen	25
3.2 Herangehensweise	33
3.3 Möglichkeiten einer Integration in das Ordnungsrecht	40
3.4 Vorschläge zur Darstellung der Ergebnisse	51
4 Untersuchungen zu Vereinfachungen bei angewandter Ökobilanzierung	54
4.1 Analysestruktur für den Methodenvergleich	54
4.2 Analyse des Gebäudeenergiegesetzes (GEG)	55
4.3 Analyse der Ökobilanz nach der QNG-Methodik	57
4.4 Vorschläge zur Anpassung von Systemgrenzen und Randbedingungen	59
4.5 Analyse und Bewertung möglicher Vereinfachungen von Rechenregeln	60
4.6 Ableitung von Vorzugsvarianten	69
4.7 Durchführung der Proberechnungen	71
5 Empfehlungen für das weitere Vorgehen	83
5.1 Allgemeine Handlungsempfehlungen	83
5.2 Hinweise zur Methode	85
5.3 Hinweise zur Datengrundlage	86
5.4 Hinweise zur Anforderungssystematik	86
5.5 Ansätze zur Reduzierung des Bearbeitungsaufwandes	87
5.6 Weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf	88
6 Abbildungsverzeichnis	89
7 Tabellenverzeichnis	90
8 Literatur- und Quellenverzeichnis	91

1 Hintergrund

1.1 Aufgabenstellung

In Politik und Gesellschaft wächst das Interesse an einer Betrachtung des vollständigen Lebenszyklus von Gebäuden, ausgelöst durch Fragen zu Art und Umfang einer Einbeziehung grauer Anteile bei Energieaufwand und Treibhausgasemissionen. Ein Ansatz hierfür ist die Lebenszyklusanalyse unter Nutzung der Ökobilanzierung. Es besteht damit ein Bedarf an Erkenntnissen zur ökobilanziellen Bewertung von Wohn- und Nichtwohngebäuden, der über Forschungsprojekte gedeckt werden soll. § 7 (5) des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) enthält entsprechende Hinweise.

*Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und das Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat werden dem Deutschen Bundestag bis zum 31. Dezember 2022 gemeinsam einen Bericht über die Ergebnisse von Forschungsprojekten zu Methodiken zur ökobilanziellen Bewertung von Wohn- und Nichtwohngebäuden vorlegen.
GEG § 7 (5) (Die Bundesregierung 2020)*

In diesem Kontext wird unter anderem diskutiert, ob und inwieweit eine ökobilanzielle Bewertung in das Ordnungsrecht integriert werden kann und soll. Die mit der hier vorliegenden Untersuchung erzielten Ergebnisse sollen eine Grundlage für den gemeinsamen Bericht der beteiligten Ministerien liefern.

Eine Vorgabe war dabei, den bei einer möglichen Einführung der ökobilanziellen Bewertung in das Ordnungsrecht entstehenden Aufwand durch zulässige Vereinfachungen gering zu halten. Zusätzlich war zu diskutieren, ob und inwieweit die Hauptanforderung zur Begrenzung des Aufwandes an Primärenergie, nicht erneuerbar durch eine Hauptanforderung zur Begrenzung von (energiebedingten) Treibhausgasemissionen ergänzt oder ersetzt werden kann und soll.

Die Fragen der ökobilanziellen Bewertung müssen sich damit im Minimum mit der Erfassung und Beurteilung des Aufwands an Primärenergie, nicht erneuerbar als ein Indikator zur Darstellung einer Inanspruchnahme von primären Ressourcen (hier Energieträger) und der (energiebedingten) Treibhausgasemissionen, in der Regel dargestellt als Treibhauspotenzial (global warming potential, GWP) befassen. Als Indikator wird in der Regel GWP 100 verwendet. 100 steht dabei für einen Zeitraum/Zeithorizont von 100 Jahren für die Beurteilung des Beitrags von Stoffen zum Treibhauseffekt.

Neben der Entwicklung vereinfachter Ansätze wird durch den Forschungsnehmer daher als wesentlich angesehen, dass insbesondere die Untersuchung der grundsätzlichen Machbarkeit, der Identifikation von Hürden und die Beantwortung grundlegender Fragestellungen des AG bearbeitet werden.

Im Sinne der Interpretation der Aufgabenstellung wird seitens der Auftragnehmer herausgestellt, dass die ökobilanzielle Bewertung eine wissenschaftliche Methode zur Erfassung und Bewertung der Energie- und Stoffströme sowie der Wirkungen auf die globale Umwelt im Lebenszyklus eines Betrachtungsgegenstands (hier eines einzelnen Wohn- bzw. Nichtwohngebäudes) darstellt. Ihre Ergebnisse fließen in die Bewertung der Umweltqualität (environmental performance) des Gebäudes ein. Die Methode an sich gibt nicht vor, wie viele und welche Wirkungskategorien berücksichtigt werden, dies ist Aufgabe der Normung oder von Festlegungen in Förderprogrammen, Bewertungssystemen oder Gesetzen. Zur vollständigen Bewertung der Umweltqualität werden die Ergebnisse einer Ökobilanzierung unter anderem durch Angaben zu Wirkungen auf die lokale Umwelt ergänzt. Diese Angaben sind nicht Ergebnis einer Ökobilanz. Die Bewertung der Umweltqualität ist ein unverzichtbarer Bestandteil einer Beurteilung des Beitrags eines Gebäudes zu einer nachhaltigen Entwicklung.

Bei einer Ökobilanz sind neben dem Betrachtungsgegenstand und dem Ziel der Untersuchung insbesondere die Systemgrenzen zu definieren. Dies betrifft unter anderem den Zeitraum der Betrachtung. Bei der Ökobilanzierung wird davon ausgegangen, dass die zeitliche Systemgrenze der geplanten bzw. angenommenen Lebensdauer des Betrachtungsgegenstandes im Sinne der Dauer des Lebenszyklus bzw. Lebenswegs entspricht. Sie ist damit eine Methode zur Lebenszyklusanalyse und kann – wo sinnvoll und erforderlich – durch eine Lebenszykluskostenrechnung als Teil der Bewertung der ökonomischen Qualität ergänzt werden. Damit ist die Lebenszyklusanalyse ein Instrument zur ganzheitlichen Erfassung aus Sicht des vollständigen Lebenszyklus und die Ökobilanzierung eine Methode zur Erfassung und Bewertung der Energie- und Stoffströme sowie der Umweltwirkungen im Lebenszyklus eines Betrachtungsgegenstands als Teil der Bewertung der Umweltqualität (environmental performance).

Die Methode der Ökobilanzierung ist geeignet, für ausgewählte Energie- und Stoffströme sowie Umweltwirkungen sowohl eindeutige und verbindliche Berechnungsgrundlagen zu definieren und Systemgrenzen festzulegen als auch Grenz- und Zielwerte als Bewertungsmaßstäbe vorzugeben. Dies macht sie geeignet für ordnungsrechtliche Festlegungen. Die Ökobilanzierung ist nicht geeignet, eine Bewertung der Umweltqualität oder des Beitrags zu einer nachhaltigen Entwicklung vollständig zu ersetzen. Im Umkehrschluss gilt aber auch, dass eine ökobilanzielle Bewertung von Gebäuden weder die Einbeziehung weiterer Wirkungen auf die lokale Umwelt (non-LCA indicators) noch eine vollständige Nachhaltigkeitsbewertung in der Breite und Tiefe der Thematik voraussetzt.

Die nachstehende Ausarbeitung konzentriert sich unter Hinweis auf oben genannte Grundlagen auf die ökobilanzielle Bewertung von Wohn- und Nichtwohngebäuden als solche. Eine Grundsatzentscheidung zu Gunsten einer ökobilanziellen Bewertung im Ordnungsrecht schließt nicht automatisch die Festlegung von Kriterien und Wirkungskategorien ein, dies muss zusätzlich erfolgen.

1.2 Politische Ziele

Mit dem Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz – GEG) werden bisher folgende Ziele und Zwecke verfolgt:

*„(1) Zweck dieses Gesetzes ist ein **möglichst sparsamer Einsatz von Energie in Gebäuden** einschließlich einer zunehmenden Nutzung erneuerbarer Energien zur Erzeugung von Wärme, Kälte und Strom für den Gebäudebetrieb.*

*(2) Unter Beachtung des Grundsatzes der Wirtschaftlichkeit soll das Gesetz im **Interesse des Klimaschutzes, der Schonung fossiler Ressourcen und der Minderung der Abhängigkeit von Energieimporten dazu beitragen, die energie- und klimapolitischen Ziele der Bundesregierung sowie eine weitere Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte zu erreichen und eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung zu ermöglichen.**“*

GEG §1 (Die Bundesregierung 2020)

Das GEG geht auf das Energieeinspargesetz und die Energieeinsparverordnung zurück. Es war und ist bisher primär auf die Schonung fossiler Ressourcen ausgerichtet. Die Reduzierung des Energiebedarfs kann auch zu einer Verringerung des Aufwands an erneuerbarer Energie führen, soweit diese ein Teil der Energieversorgung ist. Die Reduzierung des Energiebedarfs und seine zunehmende Deckung mit erneuerbarer Energie führt zu einer Reduzierung der Emissionen an Klimagasen und Luftschadstoffen.

Im weiteren Sinne werden mit dem GEG die Interessen des Klimaschutzes sowie eine Umsetzung energie- und klimapolitischer Ziele der Bundesregierung verfolgt. Um diese mess- und bewertbar zu machen, ist eine Ergänzung der Anforderungen zur Begrenzung des Aufwandes an Primärenergie, nicht erneuerbar, im Lebenszyklus durch Anforderungen zur Begrenzung der Treibhausgasemissionen möglich und sinnvoll.

Das Thema wurde bereits im Koalitionsvertrag von 2021 aufgegriffen.

Im Rahmen des Klimaschutzsofortprogramms führen wir 2022 nach dem Auslaufen der Neubauförderung für den KfW-Effizienzhausstandard 55 (EH 55) ein Förderprogramm für den Wohnungsneubau ein, das insbesondere die Treibhausgas-Emissionen (THG-Emissionen) pro m² Wohnfläche fokussiert und ändern das Gebäudeenergiegesetz (GEG) wie folgt: Zum 1. Januar 2025 soll jede neu eingebaute Heizung auf der Basis von 65 Prozent erneuerbarer Energien betrieben werden; zum 1. Januar 2024 werden für wesentliche Ausbauten, Umbauten und Erweiterungen von Bestandsgebäuden im GEG die Standards so angepasst, dass die auszutauschenden Teile dem EH 70 entsprechen; im GEG werden die Neubau-Standards zum 1. Januar 2025 an den KfW-EH 40 angeglichen. Daneben können im Rahmen der Innovationsklausel gleichwertige, dem Ziel der THG-Emissionsreduzierung folgende Maßnahmen eingesetzt werden.

Koalitionsvertrag 2021 (Die Bundesregierung 2021: 177)

Das Sofortprogramm von BMWK/BMWSB vom Juli 2022 (BMWK/BMWSB 2022: 15) äußert sich dazu wie folgt:

In einer umfassenden Novelle des Gebäudeenergiegesetzes im Jahr 2023 werden wir die Anforderungssystematik auf die Einsparung von Treibhausgasen ausrichten, wobei die Einbeziehung des gesamten Lebenszyklus noch zu prüfen ist.

[...]

*Der Koalitionsvertrag sieht zudem eine Verschärfung der energetischen Standards für den Gebäudebetrieb zum 01.01.2025 vor und eine Neubauförderung, die einen ganzheitlichen Ansatz verfolgt. Die Umsetzung erfolgt in einem dreistufigen Konzept, wobei die ersten beiden Stufen der Neubauförderung am 20.04.2022 und 21.04.2022 an den Start gegangen sind. Insbesondere mit der zweiten Stufe setzt die BEG bereits verstärkt auf einen ambitionierten, an den THG-Emissionen orientierten Standard im Neubau und auf der Lebenszyklusbetrachtung des vom BMWSB entwickelten „Qualitätssiegels Nachhaltige Gebäude“ (QNG). [...] Als dritter und finaler Schritt ist ab Januar 2023 ein neues Programm mit dem Titel „Klimafreundliches Bauen“ vorgesehen. Dieses Programm entwickelt das Qualitätssiegel für nachhaltiges Bauen weiter und wird insbesondere die **Treibhausgas-Emissionen im Lebenszyklus der Gebäude** noch stärker in den Fokus stellen.*

Sofortprogramm 2022 (BMWK/BMWSB 2022: 15)

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass im Bereich der Förderung der politische Meinungsbildungsprozess bereits weit vorangeschritten ist und das Ziel besteht, die Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus der Gebäude zu berücksichtigen. Dabei ist die ökobilanzielle Betrachtung eine wissenschaftliche Methode zur Unterstützung einer Lebenszyklusanalyse.

Eine Lebenszyklusanalyse ist im öffentlichen Interesse und wird in verschiedenen Grundlegendokumenten in Deutschland, darunter Klimaschutzplan 2050, Klimaschutzprogramm 2030, Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie und Klimaschutzgesetz hinsichtlich ihrer Bedeutung herausgestellt. So stellt das Klimaschutzgesetz in seiner aktuellen Fassung (Die Bundesregierung 2021) folgende Bezüge zur Thematik der Lebenszyklusanalyse und der Berücksichtigung von Treibhausgasemissionen bei der Beschaffung her.

„... Der Bund prüft bei der Planung, Auswahl und Durchführung von Investitionen und bei der Beschaffung, wie damit jeweils zum Erreichen der nationalen Klimaschutzziele nach § 3 beigetragen werden kann. Kommen mehrere Realisierungsmöglichkeiten in Frage, dann ist in Abwägung mit anderen relevanten Kriterien mit Bezug zum Ziel der jeweiligen Maßnahme solchen der Vorzug zu geben, mit denen das Ziel der Minderung von Treibhausgasemissionen über den gesamten Lebenszyklus der Maßnahme zu den geringsten Kosten erreicht werden kann. Mehraufwendungen sollen nicht außer Verhältnis zu ihrem Beitrag zur Treibhausgasreduzierung stehen. Soweit vergaberechtliche Bestimmungen anzuwenden sind, sind diese zu beachten. Bei der Anwendung von Wirtschaftlichkeitskriterien sind bei vergleichenden Betrachtungen die dem Bund entste-

henden Kosten und Einsparungen über den jeweiligen gesamten Lebenszyklus der Investition oder Beschaffung zugrunde zu legen.“

Klimaschutzgesetz, § 13 (2) (Die Bundesregierung 2021)

Lebenszyklusbetrachtungen unter Nutzung von Methoden der Lebenszyklusanalyse inkl. der Ermittlung und Kommunikation von Treibhausgasemissionen für die wesentlichen Lebenszyklusphasen von Gebäuden sind notwendig, um die Wechselwirkungen (unter anderem trade offs) zwischen Energieaufwand und Treibhausgasemissionen in der Betriebs- und Nutzungsphase einerseits und Energieaufwand und Treibhausgasemissionen infolge Herstellung, Errichtung, Erhalt sowie Rückbau/Aufbereitung andererseits zu analysieren. Insbesondere ist die Betrachtung der Herstellung von Baustoffen, Bauteilen und technischen Systemen nicht zu vernachlässigen. Diese fließt als wesentlicher Anteil in die Ermittlung der gebäudebezogenen „grauen“ Energie und der gebäudebezogenen „grauen“ Emissionen ein. Deren Bedeutung steigt bei Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden im Betrieb sowohl relativ als in der Regel bisher auch absolut. Da die hier entstehenden Emissionen bereits vor Beginn der eigentlichen Nutzung entstehen, später nicht mehr beeinflussbar sind und sofort zu Last des noch zur Verfügung stehenden Budgets an Treibhausgasemissionen gehen besteht ein besonderes Interesse daran, auch diese zu berücksichtigen und zu begrenzen. Es kann davon ausgegangen werden, dass beim gebäudebezogenen Anteil der Ökobilanz eines Gebäudes mit einem definierten energetischen Standard noch erhebliche Optimierungspotenziale vorhanden sind, die zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus erschlossen werden können.

Die Betrachtung der Treibhausgasemissionen adressiert im Gegensatz zur Betrachtung der Primärenergie, nicht erneuerbar direkt das Ziel Klimaschutz. Da das Klimaschutzgesetz in seiner aktuellen Fassung fordert, bei Beschaffungsmaßnahmen möglichst geringe Treibhausgasemissionen anzustreben, ist aus Sicht der Bearbeiter die Ermittlung, Angabe und Bewertung der Treibhausgasemissionen erforderlich. Dies kann durch Grenzwert- und Zielwerte als Bewertungsmaßstäbe für die Ergebnisbewertung einer ökobilanziellen Bewertung erfolgen.

Der aktuelle Koalitionsvertrag 2021 (Die Bundesregierung 2021: 177) enthält indirekte Bezüge zur Lebenszyklusanalyse durch Hinweise auf die Lebenszykluskostenrechnung, die Einbeziehung der grauen Energie sowie zur Dokumentation verbauter Ressourcen.

„Wir werden die Grundlagen schaffen, den Einsatz grauer Energie sowie die Lebenszykluskosten verstärkt betrachten zu können. Dazu führen wir u. a. einen digitalen Gebäuderessourcenpass ein.“

(Die Bundesregierung 2021:90)

Die aktuelle Fassung der europäischen Bauproduktenverordnung (Europäische Union 2011) benennt unter anderem Grundanforderungen an Bauwerke. Diese beziehen sich jeweils auf den kompletten Lebenszyklus und schließen auch in der bereit jetzt vorliegenden Form Anforderungen zur Begrenzung unerwünschter Wirkungen auf das Klima durch die Emission von Treibhausgasen ein. In einem Vorschlag für eine künftige Bauproduktenverordnung (European Commission 2022) wird dies noch ausgebaut und präzisiert.

Der aktuelle Entwurf zur EU-Gebäuderichtlinie (EPBD) (European Commission 2021) geht an mehreren Stellen auf den Lebenszyklusaspekt ein. Es wird unter anderem die Berechnung und Angabe der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus ab 2027/2030 vorgegeben.

“... Member States shall ensure that the life-cycle Global Warming Potential (GWP) is calculated in accordance with Annex III and disclosed through the energy performance certificate of the building:

(a) as of 1 January 2027, for all new buildings with a useful floor area larger than 2000 square meters; and

(b) as of 1 January 2030, for all new buildings. ...“

EPBD, Entwurf vom 15.12.2021, Artikel 7(2) (European Commission 2021)

II. Calculation of life-cycle global warming potential (GWP) of new buildings pursuant to Article 7(2)

For the calculation of the life-cycle global warming potential (GWP) of new buildings pursuant to Article 7(2), the GWP is communicated as a numeric indicator for each life-cycle stage expressed as kg COR2Re/mP2P (of useful floor area) averaged for one year of a reference study period of 50 years. The data selection, scenario definition and calculations shall be carried out in accordance with EN 15978 (EN 15978:2011. Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method). The scope of building elements and technical equipment is as defined in the Level(s) common EU framework for indicator 1.2. Where a national calculation tool exists, or is required for making disclosures or for obtaining building permits, that tool may be used to provide the required disclosure. Other calculation tools may be used if they fulfil the minimum criteria laid down by the Level(s) common EU framework. Data regarding specific construction products calculated in accordance with [revised Construction Products Regulation] shall be used when available

EPBD, Entwurf vom 15.12.2021, Anhang III

Deutlich wird, dass Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus ermittelt und getrennt für die einzelnen Lebenszyklusphasen ausgewiesen werden sollen. Bezugszeitraum für die Angaben pro Jahr sind 50 Jahre. Mittelfristig ist vorgesehen, derartige Angaben in den Energieausweis aufzunehmen. Deutschland verfügt als Anlage zum Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG) über eigene Regeln für die Ökobilanzierung (Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat 2021). Diese können gemäß aktuellem Entwurf der EPBD ebenso herangezogen werden wie (nationale) Berechnungshilfsmittel, die benannte Anforderungen erfüllen.

Politische Entscheidungen basieren unter anderem auf einer Abwägung von Schutzgütern. In diesem Zusammenhang wurde die Formulierung „überragendes öffentliches Interesse“ eingeführt. Das Feststellen eines „öffentlichen Interesses“ hat in der Regel zur Folge, dass die Belange des Gemeinwohls über Individualinteressen gestellt werden. Ein Beispiel liefert der Entwurf zum § 2 des EEG:

„Die Errichtung und der Betrieb von Anlagen sowie den dazugehörigen Nebenanlagen liegen im überragenden öffentlichen Interesse und dienen der öffentlichen Sicherheit. Bis die Stromerzeugung im Bundesgebiet nahezu treibhausgasneutral ist, sollen die erneuerbaren Energien als vorrangiger Belang in die jeweils durchzuführenden Schutzgüterabwägungen eingebracht werden. Satz 2 gilt nicht gegenüber Belangen der Landes- und Bündnisverteidigung.“

(Bundesrat 2022)

Seitens der Bearbeiter wird vorgeschlagen, in Bezug auf die Erfassung, Bewertung und Beeinflussung (Minimierung) der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus von Gebäuden zu prüfen, ob und inwieweit daran ein überragendes öffentliches Interesse besteht.

1.3 Notwendigkeit der Lebenszyklusbetrachtung

Die relative und absolute Bedeutung der gebäudebezogenen Anteile einer Ökobilanz – hier im Sinne der „grauen Energie“ und der „grauen Emissionen“ – hat zugenommen. Ihr Anteil am Aufwand an Primärenergie, nicht erneuerbar und an den THG-Emissionen im Lebenszyklus von Neubauten wird beeinflusst unter anderem durch:

- 1) den energetischen Standard,
- 2) den Betrachtungszeitraum,
- 3) Bauweise und Hauptbaustoffe inkl. Lebens-/Nutzungsdauern¹ für Bauprodukte, Bauteile und technische Systeme sowie Szenarien für Ersatzmaßnahmen,

¹ In der Regel wird eine technische Lebensdauer und eine wirtschaftliche Nutzungsdauer unterschieden. Diese und weitere Aspekte definieren die Verweildauer im Bauwerk und den Zeitpunkt eines Austauschs.

- 4) Ökobilanzdaten zu Baustoffen, Bauteilen, Systemen, Prozessen und Dienstleistungen,
- 5) Systemgrenzen (zum Beispiel ohne/mit Nutzerstrom),
- 6) Standortverhältnisse (unter anderem Klima, solares Strahlungsangebot, Baugrundverhältnisse),
- 7) Art, Umfang und verwendete Systeme zur lokalen Energiegewinnung,
- 8) Umgang mit dem Faktor Zeit (statische/dynamische Betrachtung),
- 9) Umgang mit Recyclingpotenzialen und mit potenziellen Effekten exportierter erneuerbarer Energie,
- 10) Art der Zuordnung von grauer Energie und grauen Emissionen im Lebenszyklus von gebäudeintegrierten oder gebäudenahen Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energie
- 11) Umgang mit der Bilanzierung von Holz und Biomasse (0/0 versus $-1/+1$)².

Die Punkte 1 bis 11 gelten auch für Modernisierungs- und Umbaumaßnahmen. Hier ist zusätzlich ein weiterer Einfluss durch Art, Umfang, Zustand und Restnutzungsdauer von Bauprodukten, Bauteilen und haustechnischen Systemen gegeben, die in einem folgenden Lebenszyklus weiterhin genutzt werden können und insofern nicht sofort neu hergestellt werden müssen. Dies entlastet den gebäudebezogenen Anteil einer Ökobilanz. Dies gilt auch für die unveränderte Weiternutzung von Bestandsbauten. Bilanzanteile aus vorhergehender Herstellung/Errichtung/Erhaltung werden dem vorherigen Zyklus zugeordnet und gehen mit Null in die aktuelle Betrachtung des künftigen Zyklus ein.

Die Ökobilanzierung ist dabei eine wissenschaftliche Methode zur objektiven Erfassung von Umweltwirkungen, die im Lebenszyklus des Betrachtungsgegenstandes (hier eines Einzelgebäudes) verursacht werden. Es geht darum, entsprechende Umweltwirkungen zu erfassen und zu bewerten, gegenüber Dritten zu kommunizieren und gezielt so zu beeinflussen, dass einerseits Ziele der Ressourcenschonung und des Umweltschutzes erreicht werden und andererseits keine unerwünschten Neben- oder Folgewirkungen auftreten und/oder eine Verschiebung von (Umwelt-)Belastungen in andere Bereiche innerhalb der gewählten Systemgrenzen vermieden werden kann. Es ist denkbar, eine ökobilanzielle Betrachtung mit entsprechender Begründung auch auf einzelne Phasen bzw. Lebensabschnitte zu beschränken.

Seit mehr als 100 Jahren ist bekannt, dass Energie nicht nur beim Betrieb von Gebäuden, sondern auch bei der Herstellung von Bauprodukten eingespart werden kann (Karl Hencky 2019). Ziel war um 1920 die Einsparung des knappen Energieträgers Kohle. Schon damals führte dies zur Forderung, insbesondere solche Bauprodukte einzusetzen, die zu ihrer Herstellung möglichst wenig Kohle benötigen. Es wurden Bauteilkataloge veröffentlicht, in denen sowohl der Energieaufwand zur Deckung der (Transmissions-)Wärmeverluste als auch der Energieaufwand zur Herstellung von Außenwänden dargestellt wurden. Um 1970 erwachte das wissenschaftliche Interesse am Thema, ab 1980 erfolgten zahlreiche Studien zum Thema und eine Veröffentlichung diverser Datensammlungen mit Angaben zum Energieaufwand für die Herstellung von Bauprodukten. Treiber war unter anderem die Ölkrise. Der Anteil des Energieaufwands für die Herstellung aller Bauprodukte lag bei ca. 10% des Aufwands an Primärenergie, nicht erneuerbar im Lebenszyklus eines durchschnittlichen Gebäudes. In diesen Zeitraum fällt auch der Beginn der Anwendung der Ökobilanzierung auf Fragestellungen im Baubereich. Es wurde intensiv diskutiert, ob ein Übergang zur deutlich komplexeren Ökobilanzierung erforderlich sei oder eine Beschäftigung mit dem Thema graue Energie ausreiche.

Trotz intensiver wissenschaftlicher Diskussion und diverser Publikationen zum Thema erfolgte eine Berücksichtigung der Thematik in Politik und Planungspraxis vergleichsweise spät. Zwar befassten und befassen sich die Pioniere des ökologischen Planens und Bauens bereits seit Jahrzehnten mit dem Thema der „grauen Energie“³, dies erfolgt jedoch auf freiwilliger und unregelter Basis. Mit Einführung von Nachhaltigkeitsbewertungssystemen wurden einheitliche Berechnungs- und Bewertungsgrundlagen zur Verfügung gestellt. Eine

² Beschrieben werden Ansätze zum Umgang mit Holz und Biomasse zu Beginn und am Ende des Zyklus. Weiterhin sind hier die Sonderfälle einer Nutzung von Altholz zu beachten. Durch die künftige Angabe eines GWP biogenic im Unterschied zum GWP fossil, kann die Transparenz dieser Betrachtungen verbessert werden.

³ Häufig auch als „vergegenständlichte Energie“ bezeichnet.

verbindliche Anwendung galt zunächst jedoch nur für Baumaßnahmen des Bundes. Mit der ÖKOBAUDAT des BBSR ist eine belastbare Datenquelle verfügbar.

Im Rahmen der Gebäudezertifizierung wurden auch eine Vielzahl von angewandten, lebenszyklusorientierten Ökobilanzen im Gebäudebereich durchgeführt. Um die Vergleichbarkeit verschiedener Gebäude zu gewährleisten, wurden Konventionen für die Erstellung der Bilanzen festgelegt. Hierzu gehören zum Beispiel Bezugsgröße, Betrachtungsrahmen und ein Betrachtungszeitraum von 50 Jahren⁴. Dabei zeigt sich im Bereich aller in den deutschen Zertifizierungssystemen bewerteten Wirkungskategorien ein großer Einfluss der Gebäudekonstruktion auf die resultierenden Umweltwirkungen. In der Regel beträgt der Einfluss der gebäudebezogenen „grauen“ Anteile an Treibhausgasemissionen und Primärenergieaufwand im Lebenszyklus mindestens 25 %, bei sehr energieeffizienter Bauweise und der Nutzung erneuerbarer Energien und größeren Anteilen unbeheizter Flächen auch bis zu 80 %. Mit der Errichtung des Gebäudes verbundene Energie und Stoffströme sowie Umweltwirkungen (upfront emissions) sind im weiteren Lebenszyklus nicht mehr beeinflussbar. Bei einer Konzentration auf die Betriebsphase des Gebäudes können wesentliche Optimierungspotenziale beim gebäudebezogenen Anteil nicht erkannt und Entwurfsentscheidungen nicht angemessen beeinflusst werden.

Eine Darstellung der Entwicklung der Größenverhältnisse zwischen dem Aufwand an Primärenergie für Herstellung, Errichtung und Erhalt von Gebäuden einerseits und dem Aufwand an Primärenergie für Betrieb und Nutzung (hier bei einem Betrachtungszeitraum von 80 Jahren) liefert die Abbildung 1.

„[Es] wurde der kumulierte Primärenergieaufwand (KEA) über eine Nutzungsdauer von 80 Jahren für verschiedene Gebäudestandards verglichen. Für schlecht gedämmte Gebäude (deutsche Wärmeschutzverordnung 1984) beträgt der Herstellungsenergieaufwand (HEA) im Vergleich zum Verbrauch an Erdgas und Primärenergie für den Haushaltsstrom nur ca. 5 %⁵. Bereits beim Niedrigenergiehaus liegen die Bedeutung von Strom- und Erdgasverbrauch in der Nutzungszeit mit je 45 % etwa gleich auf. Fortschritte können nun vor allem durch effiziente Nutzung von Strom erzielt werden. Beim Standard des Passivhauses wird durch sehr guten Wärmeschutz der Heizenergieverbrauch so gering, dass auf ein separates Heizsystem verzichtet werden kann. Der Herstellungsenergieaufwand von neuen Passivhäusern kann dabei sogar geringer sein als der von gewöhnlichen Neubauten. Bedingt durch den hohen Herstellungs- und Erneuerungs-Primärenergieaufwand (E-HEA) für aufwendige technische Systeme ist der kumulierte Energieaufwand für Energieautarke Häuser allerdings wieder höher als für ein Passivhaus.“
(Röhm 1993)

Bereits in den neunziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts wurde damit festgestellt, dass eine Reduzierung des Energiebedarfs in der Betriebs- und Nutzungsphase in Richtung energieautarker Gebäude (heute unter anderem „Nullenergiegebäude“) zu einem Anstieg des Energieaufwands für Herstellung, Errichtung und Erhalt führen kann, der die ökologische Vorteilhaftigkeit derartiger Entwicklungen in Frage stellt.

4 Der Betrachtungszeitraum ist nicht (immer) mit der geplanten bzw. erwarteten technischen Lebens- oder wirtschaftlichen Nutzungsdauer identisch. In Deutschland werden im Sinne einer Konvention die ersten 50 Jahre der Nutzungsdauer eines Gebäudes als Betrachtungszeitraum definiert, Prozesse am Ende der Nutzungsdauer werden fiktiv an das Ende des Betrachtungszeitraums verschoben. In der Mehrzahl der Fälle wählen auch andere Länder in Europa einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren, teilweise auch von 60 Jahren. 50 Jahre sind ein Kompromiss aus notwendiger Langzeitbetrachtung und zunehmender Unsicherheit. Es ist zu beachten, dass ein längerer Betrachtungszeitraum Auswirkungen auf Reparatur- und Ersatzmaßnahmen hat.

5 Hier wurde der Verbrauch an Haushaltsstrom berücksichtigt, der Betrachtungszeitraum liegt bei 80 Jahren.

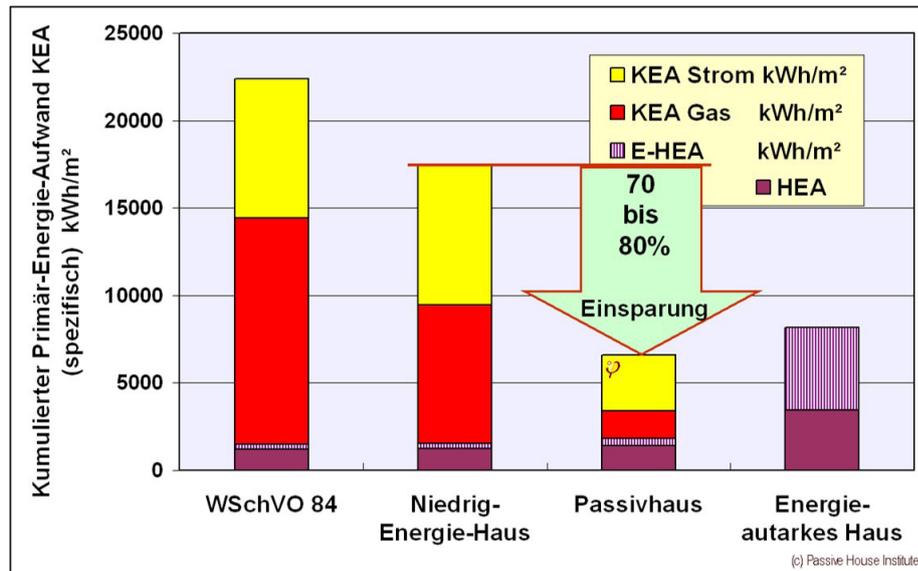


Abbildung 1 Kumulierter Primärenergieaufwand im Vergleich⁶ (Quelle: Feist 2017)

1.4 Treibhauspotenzial als Indikator

Das sich unter anderem im Leitfaden Nachhaltiges Bauen des Bundesbauministeriums ausdrückende Nachhaltigkeitsverständnis geht davon aus, dass Anforderungen aus den Schutzgütern und Schutzziele einer nachhaltigen Entwicklung abgeleitet werden. Im Bereich der ökologischen Dimension einer nachhaltigen Entwicklung sind dies u. a. der Schutz des Klimas/Ökosystems und die Schonung natürlicher Ressourcen (BMI 2019). Beide Aspekte werden als gleichwertig betrachtet. Eine Begrenzung des Aufwandes an Primärenergie, nicht erneuerbar dient den Zielen der Ressourcenschonung, eine Begrenzung der Treibhausgasemissionen den Zielen des Klimaschutzes. Es bestehen enge Zusammenhänge. Oft geht ein geringer Energiebedarf einher mit der Reduzierung von Treibhausgasemissionen. Dennoch können sich Energieträger signifikant in ihrer Ressourceninanspruchnahme und dem Beitrag zum anthropogenen Klimawandel unterscheiden. Ebenso entstehen Treibhausgase nicht ausschließlich durch die Inanspruchnahme von Energieträgern (energiebedingte Treibhausgasemissionen), sondern durch chemische Reaktionen bei der Baustoffherstellung (prozessbedingte Treibhausgasemissionen) oder durch betriebsmittelbedingte Treibhausgase, insbesondere durch die Verwendung fluoriierter Treibhausgase (F-Gase) als Kältemittel.

In Unger/Leitschuh/König (2019) wurden unterschiedliche Bauweisen und Energiestandards von Gebäuden hinsichtlich ihres Primärenergiebedarfs, nicht erneuerbar (Abbildung 2) und der Emission von Treibhausgasen (Abb. 3) untersucht. Es wird deutlich, dass sich hier die Wirkungen unterscheiden. Einen Überblick zu aktuellen Größenordnungen vermittelt unter anderem (König 2017). Bei Neubauten mit hohem energetischen Niveau (geringem Bedarf in der Nutzungsphase) werden die „grauen“ Anteile sowohl bei der Betrachtung von Primärenergieaufwand, nicht erneuerbar als auch bei den Treibhausgasemissionen zur dominierenden Größe.

Eine Erfassung und Bewertung des Primärenergiebedarfs ist nicht ausreichend, um unerwünschte Wirkungen auf das Klima gezielt zu erfassen und beeinflussen zu können. Über den Bedarf an Primärenergie, nicht erneuerbar lässt sich jedoch ein Zusammenhang zur Inanspruchnahme von Ressourcen (hier von Energieträgern) herstellen.

⁶ Basis: Passivhaus Darmstadt Kranichstein [Feist 1997]; Materialdaten nach [Kohler 1995] und [SIA 0123]. Die Basisdaten für den Verbrauch an Strom und Gas sind beim Passivhaus Messwerte (vgl. Primärenergie-Passivhaus.) KEA = Kumulierter-Energie-Aufwand; E-HEA = Erneuerungs-Herstellungs-Energie-Aufwand; HEA = Herstellungs-Energie-Aufwand.

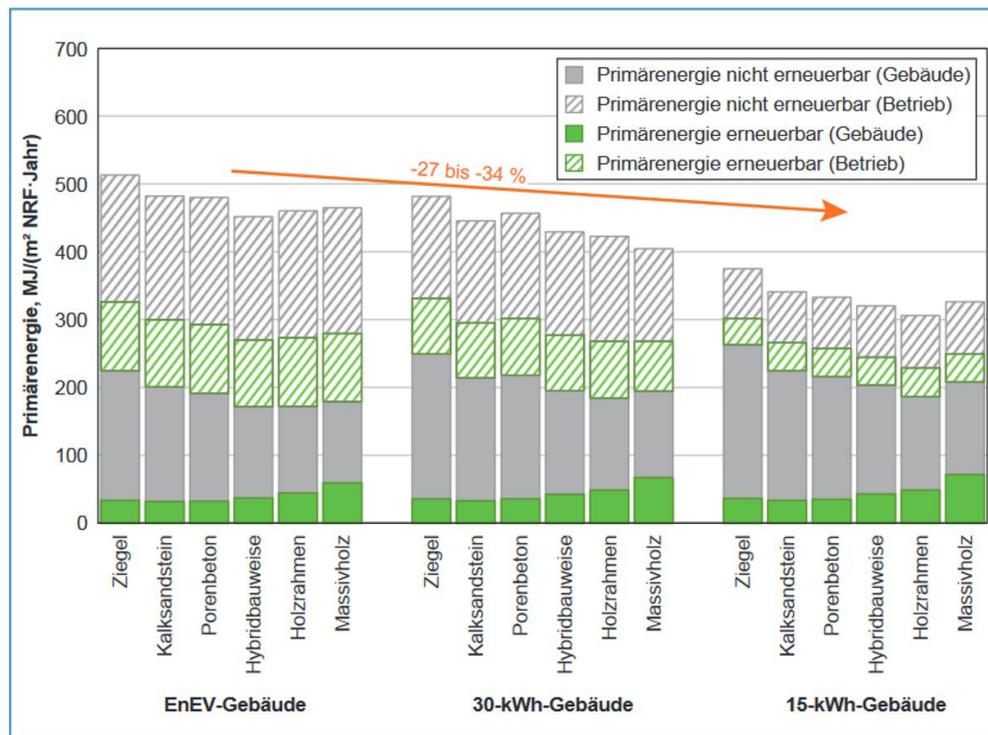


Abbildung 2 Primärenergiebedarfswerte (Gebäude + Betrieb) einzelner Bauweisen / Energieniveaus (Quelle: Unger/Leitschuh/König 2019)

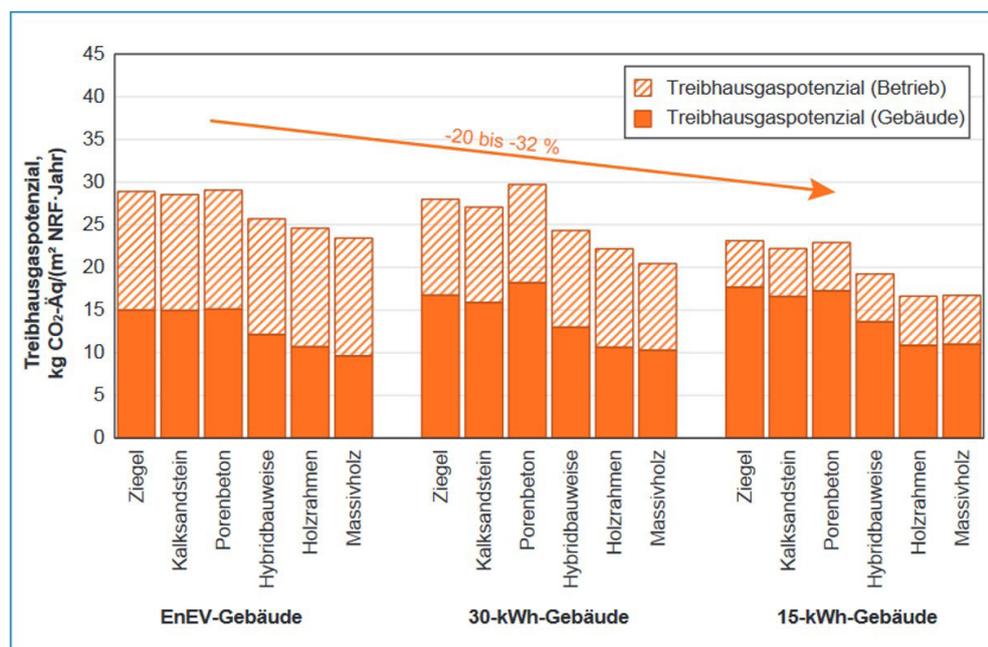


Abbildung 3 Treibhausgaspotenziale (Gebäude + Betrieb) einzelner Bauweisen / Energieniveaus (Quelle: Unger/Leitschuh/König 2019)

2 Ausgangslage

2.1 Normative Grundlagen

Die Grundsätze und Rahmenbedingungen für die Ökobilanzierung sind in der internationalen Normung in Form von Standards geregelt, die in das europäische und nationale Normenwerk übernommen wurden. Relevant im Kontext dieser Ausarbeitung sind:

- DIN EN ISO 14040: 2021 Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006 + Amd 1:2020); Deutsche Fassung EN ISO 14040:2006 + A1:2020
- DIN EN ISO 14044: 2021 Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006 + Amd 1:2017 + Amd 2:2020); Deutsche Fassung EN ISO 14044:2006 + A1:2018 + A2:2020

Die Normen gelten für Ökobilanzen für Produkte bzw. Produktsysteme aller Art. Dabei regelt DIN EN ISO 14040 sowohl die Phasen und damit die wesentlichen Elemente einer normkonformen Ökobilanz (Abb. 4) als auch die Art der Beschreibung von Systemgrenzen (Abb. 5).

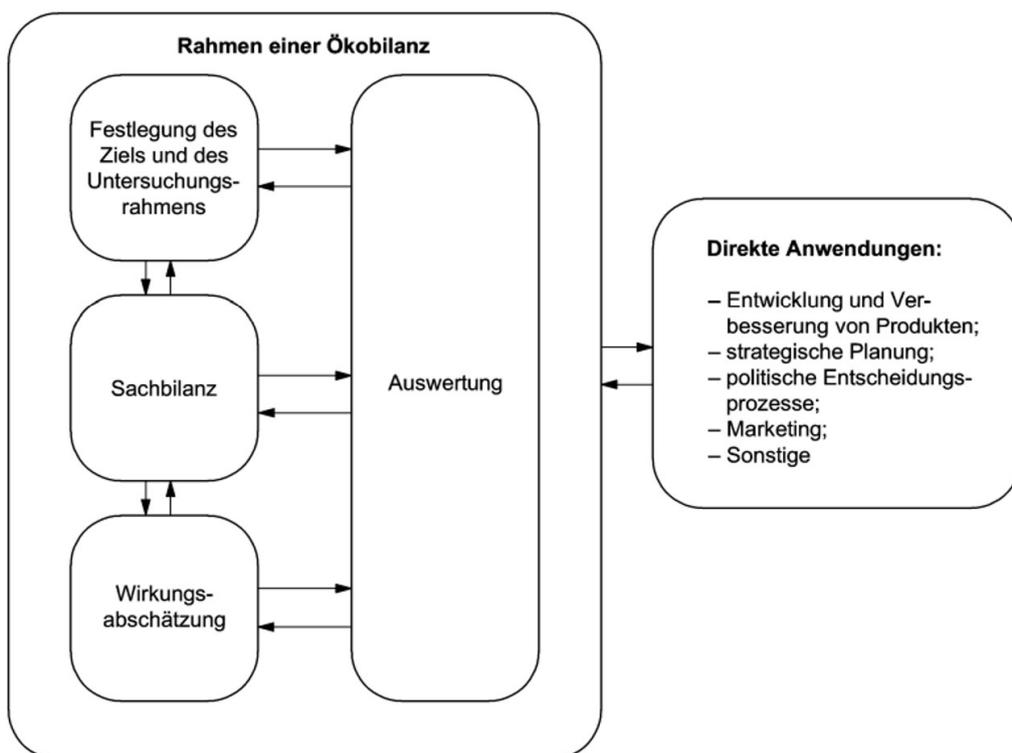


Abbildung 4 Elemente einer Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040:2021

DIN EN ISO 14040:2021 sieht grundsätzlich die Berücksichtigung des vollständigen Lebenswegs/Lebenszyklus von Produkten bzw. Produktsystemen vor. Sie lässt dabei offen, ob nicht im Rahmen der Festlegung von Untersuchungsrahmen und Untersuchungsziel eine Konzentration auf ausgewählte Phasen/Abschnitte möglich ist.

Dies müsste jedoch in jedem Fall ausführlich dargestellt und begründet werden. Dabei gilt der Grundsatz, dass es bei der Festlegung des Untersuchungsrahmens und damit der Systemgrenzen einer Ökobilanz notwendig ist, den Zusammenhang mit der Entscheidungsfindung zu berücksichtigen, d. h., die untersuchten Produktsysteme sollten die von der vorgesehenen Anwendung betroffenen Produkte und Prozesse im Kontext der jeweiligen Fragestellung hinreichend berücksichtigen.

DIN EN ISO 14044: 2021 liefert allgemeine Anleitungen zur Ökobilanzierung. Eingegangen wird auf Details der Sachbilanz, der Wirkungsabschätzung, des Umgangs mit Recycling sowie der Berichterstattung.

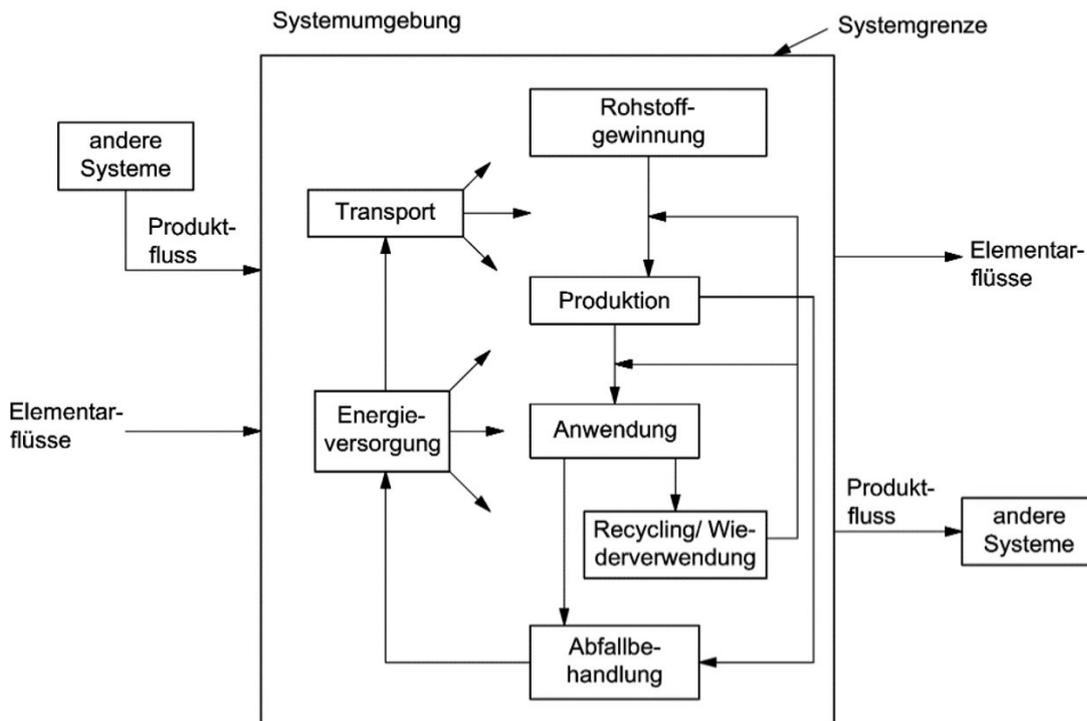


Abbildung 5 Beschreibung von Systemgrenzen einer Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040:2021

Neben den Normen zu Grundlagen der Ökobilanzierung existieren weitere im Kontext ihrer Anwendung im Gebäudebereich. Sie entstanden im Rahmen der Normungsinitiativen von ISO TC 59 SC17 und CEN TC 350 und wurden über Vertreter des DIN und seiner Spiegelausschüsse begleitet und beeinflusst. Es handelt sich um:

- DIN EN 15643: 2021 Nachhaltigkeit von Bauwerken – Allgemeine Rahmenbedingungen zur Bewertung von Gebäuden und Ingenieurbauwerken
- DIN EN 15978-1 Nachhaltigkeit von Bauwerken – Methodik zur Bewertung der Qualität von Gebäuden – Teil 1: Umweltqualität; Deutsche und Englische Fassung prEN 15978-1:2021⁷

⁷ Liegt für die aktuelle Fassung zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Ausarbeitung im Entwurf vor und befindet sich im Abstimmungsprozess, Entwurf veröffentlicht.

Die Grundlagen zur Erstellung der in der Ökobilanz von Gebäuden zu verwendeten Daten werden geregelt in:

- DIN EN 15804: 2020 Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; Deutsche Fassung EN 15804:2012+A2:2019

Von Bedeutung für diese Ausarbeitung sind die Vorgaben von DIN EN 15643: 2021 für die Modellierung von Gebäuden und ihres Lebenszyklus. Diese Vorgaben eignen sich für die Definition von Systemgrenzen. In Abbildung 6 werden die Phasen und Module zur Beschreibung des Lebenszyklus eines Gebäudes vorgestellt.

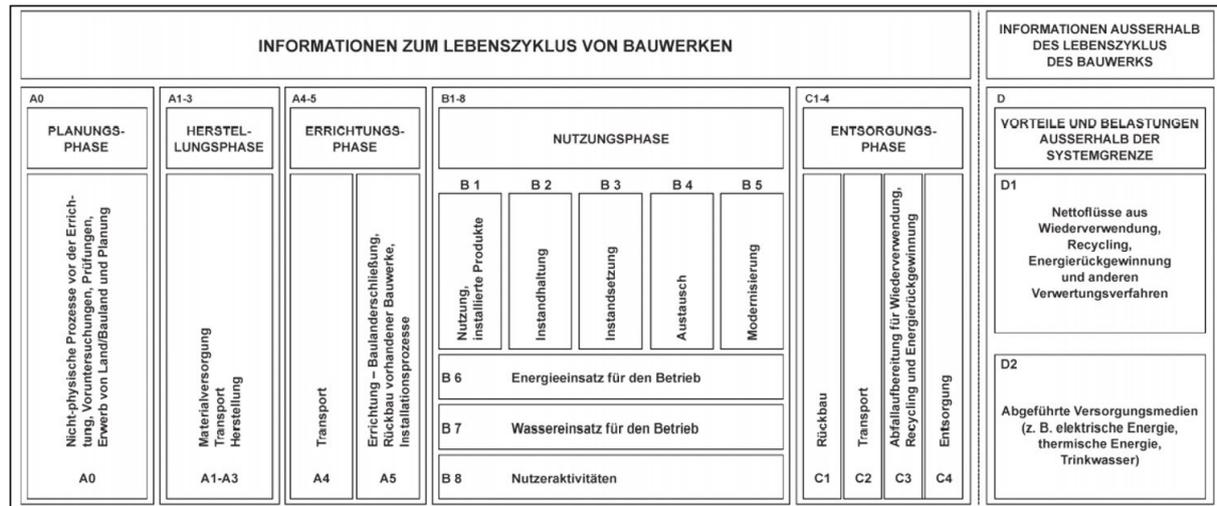


Abbildung 6 Phasen und Module im Lebenszyklusmodell eines Gebäudes nach DIN EN 15643:2021

Für die Zwecke dieser Ausarbeitung ist das Modul A0 nicht relevant. Es ist unter anderem der Erfassung von Planungs- und Managementkosten vorbehalten. Die Energie- und Stoffströme im Planungsbüro (Arbeitsplatzbeleuchtung, Fahrten zur Baustelle) werden nicht berücksichtigt.

Das Modul B6 „Energieeinsatz für den Betrieb“ wird in der Norm weiter unterteilt in:

- B6.1 betriebsbedingter und genormter Energieeinsatz,
- B6.2 betriebsbedingter und nicht genormter Energieeinsatz
- B6.3 nutzer- und nutzungsbezogener Energieeinsatz.

Es besteht damit Bedarf einer Klärung der Systemgrenzen, die zukünftig im Ordnungsrecht berücksichtigt werden sollten. Die aktuelle Fassung des GEG entspricht dem Modul B6.1.

Auf der Basis der Erfassung von Energie- und Stoffströmen, die in der Regel im vollständigen Lebenszyklus (oder in Ausnahmefällen in Teilen davon) eines Betrachtungsgegenstands (hier eines Gebäudes) auftreten und in einer Sachbilanz abgebildet werden, können die Wirkungen auf die globale Umwelt ermittelt werden. Traditionell konzentriert sich die Ökobilanz auf die Seite des Outputs und damit auf die Wirkungen auf die globale Umwelt. Diese Wirkungen können als mid- oder endpoint-Kategorien angegeben werden, Abbildung 7 zeigt ein Beispiel. Eine midpoint-Kategorie ist zum Beispiel der Beitrag zum Klimawandel, ausgedrückt als Treibhauspotenzial.

Zusätzlich abgebildet werden kann auf der Input-Seite die Inanspruchnahme von natürlichen Ressourcen (in der Regel primären Rohstoffen, Wasser) sowie die Flächeninanspruchnahme.

Die Berücksichtigung des Aufwands an (End-)Energie(-trägern) ist eine Ausgangsposition für die Ermittlung des Aufwands an Primärenergie, der Treibhausgasemissionen, der Emissionen an Luftschadstoffen sowie von Wirkungen auf die globale Umwelt. Diese werden als Summenparameter dargestellt, unabhängig vom Ort ihrer Entstehung. Die Erfassung des Aufwands an Energie ist im Fall der Endenergie eine Ausgangsgröße für die Ermittlung von Kosten, externen Kosten, Aufwand an Primärenergie, Emissionen von Treibhausgasen und Luftschadstoffen und im Fall der Primärenergie ein Teilaspekt der Ressourceninanspruchnahme (unter anderem an fossilen Energieträgern).

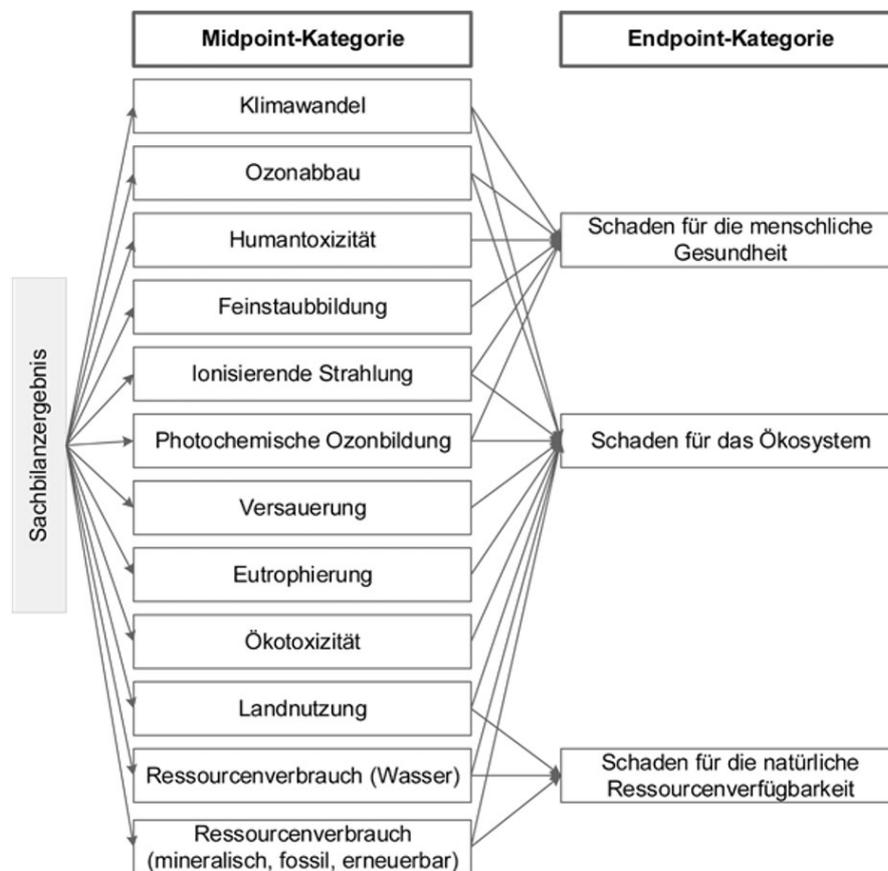


Abbildung 7 Übersicht über Wirkungskategorien, vereinfachte Darstellung auf Basis von (Quelle: Goedkoop et. al. 2013)

Die Ermittlung der „grauen Emissionen“ ist ein Teil einer umfassenderen Ökobilanz. Sollen zum Beispiel die Wirkungen auf das Klima infolge Herstellung, Errichtung, Erhalt, Rückbau, Aufbereitung/Entsorgung infolge der Treibhausgasemissionen ermittelt und bewertet werden ist es erforderlich, eine Ökobilanz zu erstellen, die „graue Emissionen“ als ein Teilergebnis ausweist. Der Vorteil der Ökobilanz gegenüber einer reinen Energie- und/oder Emissionsbilanz ist es, dass mehrere Wirkungen untersucht werden können. Diese Ergebnisse lassen sich nutzen, um unerwünschte Neben- und Folgewirkungen zu erkennen und auszuschließen und/oder bei Vorhandensein geeigneter Anforderungswerte Nebenanforderungen zu formulieren oder einen Satz von Bewertungskriterien zu verwenden – siehe hierzu die Kriterien 1.1.1 – 1.1.5 und 1.2.1 des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen (BNB) des Bundes.

Anzahl und Bezeichnung der Wirkungskategorien einer Ökobilanz müssen definiert werden. In Bezug auf Gebäude gilt formal der Mindestumfang von DIN EN 15978-1, soweit eine Bewertung der Umweltqualität als Teil einer Nachhaltigkeitsbewertung durchgeführt werden soll.

Es kann unterstellt werden, dass das Ziel der ökobilanziellen Bewertung im Ordnungsrecht in einer zweifachen Erweiterung bisheriger Vorgehensweisen besteht:

- 1) Erweiterung der Systemgrenze von Betrieb (und Nutzung) in Richtung vollständiger Lebenszyklus/Lebensweg;
- 2) Ergänzung bisheriger Messgrößen bzw. Bewertungskriterien/Indikatoren um weitere Themen. Da mit dem GEG unter anderem ein Beitrag zum Klimaschutz und zum Erreichen klimapolitischer Ziele geleistet werden soll, ist hier zumindest die Ermittlung, Bewertung und Begrenzung von Treibhausgasemissionen zu betrachten.

2.2 Situation in Deutschland

Wie in den vorhergehenden Abschnitten aufgezeigt, besteht ein großes politisches und öffentliches Interesse an einer verbindlichen Einführung von Lebenszyklusbetrachtungen. Neben Fragen der Lebenszykluskostenrechnung betrifft dies unter anderem die ökobilanzielle Bewertung der Energie- und Stoffströme inklusive der resultierenden Wirkungen auf die globale Umwelt. Ein besonderes öffentliches Interesse liegt im Themenbereich „graue Energie“ stellvertretend für Aufwand an Primärenergie, nicht erneuerbar im Zusammenhang mit Herstellung, Errichtung, Erhalt, Rückbau, Aufbereitung/Entsorgung von Bauwerken vor. Parallel dazu wächst das Interesse am Thema Ressourceninanspruchnahme (Ressourcenpass, Kreislaufwirtschaft, kreislauffähige Gebäude und Produkte). Fragen der Erfassung der Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen / primärer Rohstoffe sind Gegenstand einer ökobilanziellen Bewertung. Der Aufwand an Energie entspricht dabei einem Aufwand an (fossilen) Ressourcen im Sinne der energetischen Nutzung von Energieträgern. Es wird hier davon ausgegangen, dass die im Koalitionsvertrag angesprochene Thematik der grauen Energie breiter interpretiert werden kann und das Thema der grauen Emissionen einschließt. Im Hinblick die Aufgabe des Klimaschutzes sowie das Ziel der Minderung von Treibhausgasemissionen wäre dies nur folgerichtig.

Die methodischen Grundlagen für die Nutzung einer angewandten Ökobilanzierung auf Fragen der Bewertung der Umweltqualität von Gebäuden liegen in Deutschland vor. Sie sind mit dem Stand der internationalen und europäischen Normung abgestimmt. Im Kontext des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen (BNB) und des Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude (QNG) liegen aktuelle Datengrundlagen und Rechenregeln frei zugänglich vor. Sie wurden zunächst für neu zu errichtende Wohnbauten entwickelt und inzwischen für Nicht-Wohngebäude (NWG) ergänzt. Bei Nicht-Wohngebäuden besteht die Möglichkeit der Anwendung auch bei Modernisierungsmaßnahmen (Planen und Bauen im Bestand).

Mit der Datenbank ÖKOBAUDAT werden die benötigten Ökobilanzdaten zu Bauprodukten frei zugänglich zur Verfügung gestellt. Mit Stand Sommer 2022 wird an der Bereitstellung von Rechenwerten im Sinne eines Auszugs von Daten für frühe Phasen der Planung gearbeitet, um den Zugriff auf benötigte Informationen zu erleichtern. Eine Ergänzung von Daten im Bereich der Haustechnik ist geplant. Mittelfristig muss die Datengrundlage auf die Erfordernisse der DIN EN 15804 A2 umgestellt werden. Im Normungsprozess ist diese Übergangsphase definiert. Eine Voraussetzung ist eine Bereitstellung entsprechender Daten durch die Industrie und ihre Verbände. Empfohlen wird gleichzeitig eine Orientierung an den Anforderungen an Bauproduktinformationen, wie sie im Entwurf zur Bauproduktenverordnung zum Ausdruck gebracht werden. (European Commission 2022)

Sowohl das BBSR als auch der Markt halten geeignete Berechnungshilfsmittel (Tools) zur Verfügung. Im Falle des BBSR sind diese als eLCA frei zugänglich. Softwareanbieter im Umfeld der DIN 18599 bereiten Lösungen

vor, die eine Ökobilanzierung des Lebenszyklus unterstützen und bieten diese an, ebenso sind Anwendungen verfügbar, die Kostenermittlung und Ermittlung der Umweltwirkungen koppeln bzw. die LCA in BIM-Anwendungen integrieren.

Mit der Anwendung der ökobilanziellen Bewertung im Kontext einer Lebenszyklusanalyse zur Nachhaltigkeitsbewertung, die auf wissenschaftlicher Grundlage Ergebnisse für die Bewertung der Umweltqualität zur Verfügung stellt, liegen in Deutschland seit ca. 15 Jahren Erfahrungen im öffentlichen und privaten Bereich vor. Dies trifft auf das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) des Bundesbauministeriums und DGNB-Zertifikat der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen zu, später folgten das System Nachhaltiger Wohnungsbau (NaWoh) der Wohnungswirtschaft und das Bewertungssystem Nachhaltiger Kleinhausbau (BNK). Für Bauvorhaben des Bundes sowie für den Zuwendungsbau liegt eine Anwendungspflicht des BNB und damit die Pflicht zur Erstellung einer Ökobilanz vor. Im Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude des Bundes (QNG) ist die Erstellung einer Ökobilanz für die Größen Primärenergie, nicht erneuerbar (PEne) und Treibhausgaspotenzial (GWP 100) eine Pflichtaufgabe. Das Vorliegen des QNG ist eine Voraussetzung für die Vergabe von Fördermitteln in ausgewählten Programmen des BEG. Über die Rechen- und Bewertungsregeln des QNG liegen aktuelle Orientierungswerte und Benchmarks vor. Aus Sicht der Bearbeiter kann eingeschätzt werden, dass bereits eine größere Anzahl von Planerinnen und Planern sowie spezialisierten Büros für die Erstellung von Ökobilanzen zur Verfügung stehen – mit stark zunehmender Tendenz. Treiber sind die Anforderungen im QNG, die Nachfrage bei Bauherrn, Regelungen in der Taxonomy, Entwürfe zur Gebäudeenergieeffizienzrichtlinie (EPBD) und zur Bauprodukteverordnung (CPR). Im Minimum wird hier die Nachfrage nach Angaben zum carbon footprint im Sinne der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus gestärkt. Bereits heute ist die Nachfrage nach entsprechenden Weiterbildungsangeboten hoch, wie eine Umfrage unter rund 600 Mitgliedern der Berliner Baukammer und Berliner Architektenkammer zeigte (Reiß 2022: 6–7). Grundsätzlich wird die Bedeutung des Nachhaltigen Bauens von mehr als 65 % der Beteiligten als sehr oder eher wichtig eingestuft.

Zusammenfassend lässt sich feststellen:

Es liegt ein Prüfauftrag zur Beurteilung der Möglichkeiten der ökobilanziellen Bewertung von Gebäuden vor. Richtungsentscheidungen in den Jahren 2022/23 könnten eine Einführung verbindlicher Anforderungen in das Ordnungsrecht 2025 ermöglichen. Die Grundlagen hierfür sind in Form verbindlicher Rechenregeln und Datengrundlagen vorhanden, entsprechende Erfahrungen liegen vor, Berechnungshilfsmittel stehen zur Verfügung. Eine aktuelle Anforderungssystematik und aktuelle Anforderungsniveaus wurden für das QNG entwickelt und befinden sich in der Anwendung.

2.3 Situation im Ausland

2.3.1 Frankreich

Frankreich hat gesetzliche Anforderungen unter anderem zur Begrenzung der Emission an Treibhausgasen bei ausgewählten Gebäude- und Nutzungsarten bereits verbindlich in Form der RE 2020 eingeführt. Im Rahmen des Notifizierungsverfahrens liegen Gesetzesentwürfe und finale Fassungen vor (Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires 2022). Zur Sicherung der Datengrundlagen hat Frankreich zusätzlich die Pflicht zur Bereitstellung umweltrelevanter Produktinformationen auf gesetzlicher Grundlage eingeführt (Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires 2021).

2.3.2 Skandinavische Länder

Ein Überblick zur Situation in Dänemark, Finnland, Norwegen und Schweden mit Stand Frühjahr 2021 liegt in Form einer Studie vor (Stefania Butera et. al. 2021). In Abb. 8 werden im Sinne eines Auszugs aus der genannten Studie geplante Schritte bei der Einführung gesetzlicher Anforderungen an die Begrenzung von Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus (oder Teilen davon) von Gebäuden aufgezeigt.

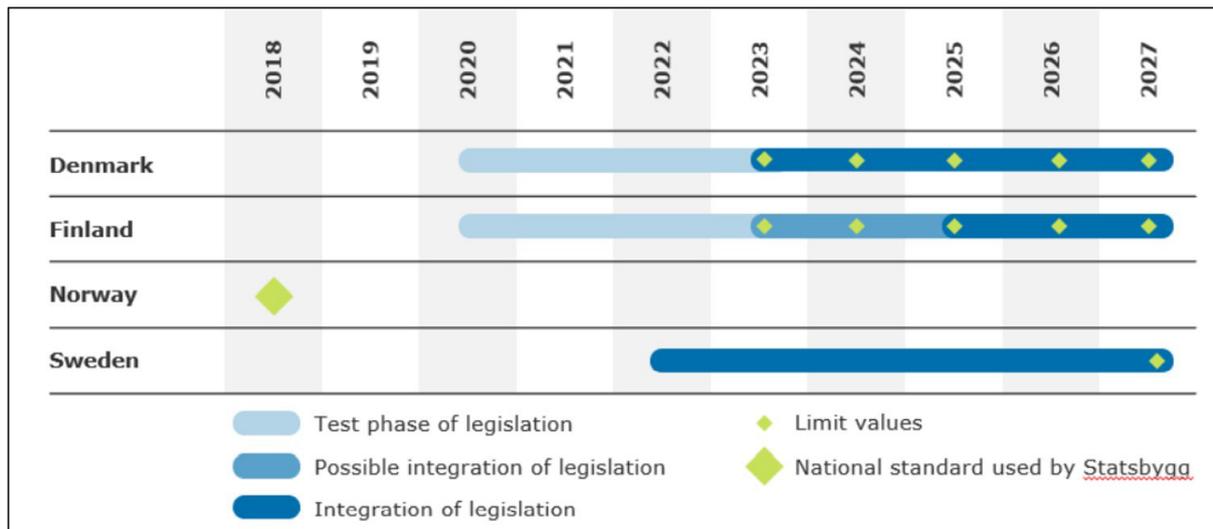


Abbildung 8 Zeitplan für Einführung gesetzlicher Anforderungen in ausgewählten Ländern (Quelle: Butera et. al. 2021)

Für Schweden liegen Gesetzesentwürfe (auch auf Deutsch) im Rahmen entsprechender Notifizierungsverfahren vor. Strategiepapiere wurden unter anderem veröffentlicht in Schweden (Boverket 2020) und in Dänemark (The Danish Housing and Planning Authority 2021).

In den skandinavischen Ländern wurden verbindliche Anforderungen zur Begrenzung der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus mit Stand Sommer 2021 zwar noch nicht verbindlich eingeführt, dies wird jedoch intensiv vorbereitet. Es wird in diesen Ländern an Grundlagen und Zeitplänen zur verbindlichen Einführung von Anforderungen zur Begrenzung der Treibhausgasemissionen gearbeitet (Abb. 9 und Abb. 10). Dabei geht es sowohl um die Festlegung der Anforderungssystematik als auch um das Niveau der Anforderungen selbst. Deutlich wird, dass der Ansatz klarer Zeit- und Stufenpläne verfolgt wird. Dies gibt der Planungs- und Baupraxis ebenso wie der bauproduktherstellenden Industrie die Möglichkeit, sich jeweils frühzeitig auf die nächste Stufe vorzubereiten. Es wird empfohlen, diesen Ansatz auch für Deutschland zu nutzen.

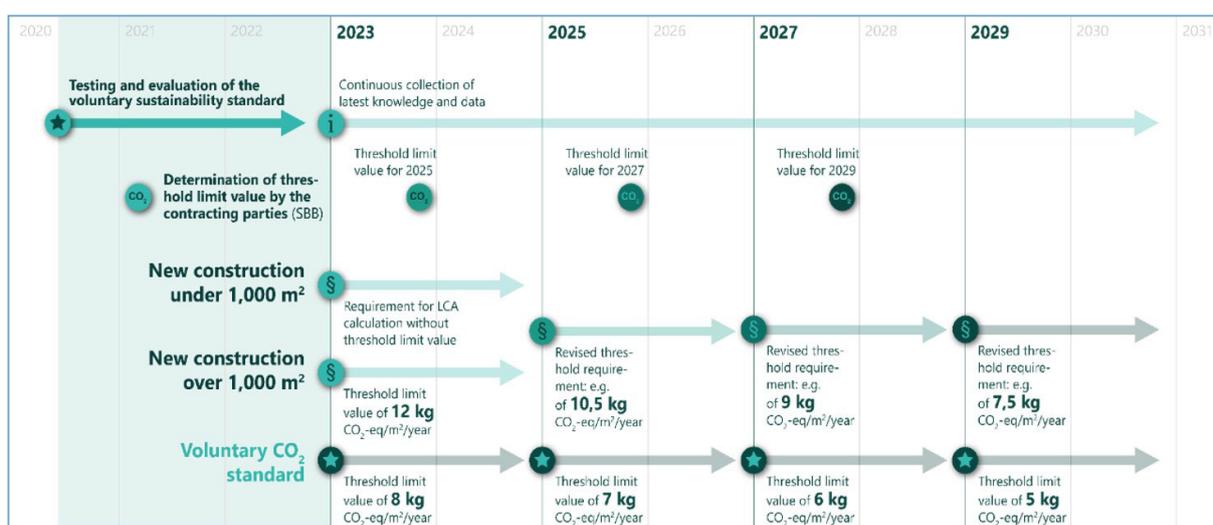


Abbildung 9 Situation in Dänemark (Quelle: The Danish Housing and Planning Authority 2021)



Abbildung 10 Situation in Schweden (Quelle: Boverket, 2020:37)

In Schweden wird derzeit ein Sonderweg verfolgt. Ein erster Ansatz für Anforderungen zur Begrenzung grauer Emissionen konzentriert sich auf den Erstaufwand bei der Errichtung der Gebäude (Module A1–A5). Dieser Aufwand geht sofort und vollständig zu Lasten des noch zur Verfügung stehenden Budgets. Erst in einem zweiten Schritt (ca. 2027) soll dies auf die Begrenzung der grauen Emissionen im Lebenszyklus ausgedehnt werden. Wegen der Notwendigkeit der Formulierung belastbarer Annahmen und Szenarien wird dies in Schweden als der schwierigere Teil eingeschätzt.

In Finnland sollen sich die Grundlagen zur Ermittlung und Begrenzung der Treibhausgasemissionen am Stand der europäischen Normung orientieren. Es wird ein Stufenplan verfolgt, der zunächst folgende Schritte umfasst:

- 1) unverbindliche Testanwendungen,
- 2) verbindlichen Vorgaben für öffentliche Bauvorhaben,
- 3) Berichtspflicht zum GWP.

Als Voraussetzungen werden das Sammeln von Erfahrungen im Bau- und Gebäudebereich und das Vorhandensein geeigneter Produktinformationen benannt. Es wird dabei eingeschätzt, dass wesentliche Grundlagen, darunter eine Datenbank, bereits vorliegen. Es wird davon ausgegangen, dass ein Vorhandensein von Berechnungshilfsmitteln und geeigneten Daten die Berechnungen deutlich erleichtert. Die Datenbank ist frei verfügbar unter: <https://www.co2data.fi> (SYKE 2022).

2.3.3 Schweiz

In der Schweiz sind bisher kaum Entwicklungen in Richtung gesetzlicher Anforderungen zur Begrenzung von Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus von Gebäuden erkennbar. Ordnungsrechtliche Anforderungen im Hinblick auf Lebenszyklusbetrachtungen liegen bisher nicht vor. Der Entwurf zu einem „CO₂-Gesetz“ sah einen Stufenplan zum kurzfristigen Erreichen klimaneutraler Neubauten im Betrieb und ein schrittweises Absenken der Treibhausgasemissionen im Bestand vor. Der Gesetzesentwurf erhielt im Sommer 2021 nicht die notwendigen Mehrheiten (Schweizerische Eidgenossenschaft 2021).

Die Initiative ging und geht hier unter anderem vom Verband Schweizerischer Ingenieure und Architekten (SIA) aus. Basis ist das Konzept einer 2000-Watt-Gesellschaft, das unter anderem eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen pro Kopf auf Null bis 2045 oder früher (frühestens 2039) vorsieht. Im Bereich SIA wurden benötigte Voraussetzungen mit den Bewertungsregeln für graue Energie und die Ökobilanzierung (SIA 2030), den Zielwerten für Primärenergie und Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus (SIA 2040) und mit Grundlagen für die Festlegung allgemeiner Planungsziele für Nachhaltigkeit (SIA 112/1) geschaffen. Die Systemgrenzen beziehen hier gebäudebezogene Anteile des Aufwands an Energie und der Emissionen für Mobilität mit ein (Abb. 11).

Wohnen	Primärenergie nicht erneuerbar kWh/m ²		Treibhausgasemissionen kg/m ²	
	Neubau	Umbau	Neubau	Umbau
Richtwert Erstellung	30	20	9,0	5,0
Richtwert Betrieb	60	70	3,0	5,0
Richtwert Mobilität	30	30	4,0	4,0
Zielwert	120		16,0	14,0
Zusatzanforderung Erstellung + Betrieb	90		12,0	10,0

Abbildung 11 Zielwerte, Zusatzanforderungen und orientierende Richtwerte für die Kategorie Wohnen (Quelle: Auszug aus SIA 2040 mit Stand 2017)

Interessant beim Ansatz von SIA 2040 ist eine Kombination aus unverbindlichen Richtwerten für Teilgrößen zum betriebsbedingten und gebäudebezogenen Anteil am Energieaufwand und an den Emissionen und den – im Rahmen der Norm – verbindlichen Zielwerten. Anwendbar auf die Fragestellung in Deutschland ist hier jedoch die „Zusatzanforderung“. Der Begriff „Erstellung“ bezieht sämtliche grauen Anteile ein. Abgeleitet werden die Werte unter anderem aus dem Absenkpfad für Treibhausgasemissionen pro Kopf, daher der Bezug zu einer Standardpersonenfläche im Sinne einer Normbelegung von Wohnungen.

2.3.4 Großbritannien

In Großbritannien wurden nationale Strategien zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen für Gebäude (Government Property Agency 2022) entwickelt. Vergleichbar der Situation in der Schweiz ist hier die nationale Architektenkammer (RIBA) ein Treiber. Diese hat eigene Zielwerte und Absenkpfade veröffentlicht (RIBA 2021b) (Abb. 12). Es existieren Vorschläge der Architektenkammer in UK für die Integration der Berechnung von lebenszyklusbezogenen Treibhausgasemissionen in einzelne Arbeitsschritte (Simon Sturgis 2019).

In Großbritannien – wie auch in anderen Ländern – entwickeln Großstädte eigene Grundlagen, Anforderungswerte und Strategien zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus, darunter auch die gebäudebezogenen (Greater London Authority 2022: 41). Hier befassen sich auch die Wertermittler mit dieser Thematik (Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS) 2017).

RIBA 2030 Climate Challenge target metrics for domestic / residential

RIBA Sustainable Outcome Metrics	Business as usual (new build, compliance approach)	2025 Targets	2030 Targets	Notes
Operational Energy kWh/m ² /y 	120 kWh/m ² /y	< 60 kWh/m ² /y	< 35 kWh/m ² /y	Targets based on GIA. Figures include regulated & unregulated energy consumption irrespective of source (grid/renewables). BAU based on median all electric across housing typologies in CIBSE benchmarking tool. 1. Use a 'Fabric First' approach 2. Minimise energy demand. Use efficient services and low carbon heat 3. Maximise onsite renewables
Embodied Carbon kgCO ₂ e/m ² 	1200 kgCO ₂ e/m ²	< 800 kgCO ₂ e/m ²	< 625 kgCO ₂ e/m ²	Use RICS Whole Life Carbon (modules A1-A5, B1-B5, C1-C4 incl sequestration). Analysis should include minimum of 95% of cost, include substructure, superstructure, finishes, fixed FF&E, building services and associated refrigerant leakage. 1. Whole Life Carbon Analysis 2. Use circular economy strategies 3. Minimise offsetting & use as last resort. Use accredited, verifiable schemes (see checklist). BAU aligned with LETI band E; 2025 target aligned with LETI band C and 2030 target aligned with LETI band B.
Potable Water Use Litres/person/day 	125 l/p/day (Building Regulations England and Wales)	< 95 l/p/day	< 75 l/p/day	CIBSE Guide G.

Abbildung 12 Klimaschutzzielwerte der Britischen Architektenkammer für 2030 (Quelle: RIBA 2021)

2.4 Zusammenfassung

In vielen Ländern, insbesondere in Skandinavien und Frankreich, wurde und wird die Entwicklung in Richtung gesetzlicher Anforderungen zur Begrenzung der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus inklusive grauer/gebäudebezogener Anteile oder in Teilen davon vorangetrieben. In Frankreich und Dänemark führte dies bereits zu gesetzlichen Anforderungen, die übrigen skandinavischen Länder bereiten diese auf der Basis von Zeitplänen vor. Vorhanden sind ein ausgeprägter politischer Wille und eine weitgehend öffentliche Akzeptanz.

Auf Seiten der EU erfolgt dies durch das Berichtssystem zur Nachhaltigkeit von Gebäuden LEVEL(s) sowie die TAXONOMY zur Lenkung von Finanzströmen bei der Finanzierung von Projekten in Richtung der Unterstützung einer nachhaltigen Entwicklung. Bisherige Regelungen und geplante Schritte sind nicht einheitlich. Im Entwurf zur EPBD ist eine Ermittlung der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus vorgesehen mit Angabe der Ergebnisse im Energieausweis.

Deutschland besitzt seit ca. 15 Jahren Systeme zur Nachhaltigkeitsbewertung (unter anderem BNB, DGNB), die Anforderungen zur Ermittlung und Bewertung des Aufwandes an Primärenergie, nicht erneuerbar sowie der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus umfassen und verfügt damit über langjährige Erfahrungen. Die aktuellen Anforderungen des QNG sind anspruchsvoll und methodisch fortgeschritten. Sie werden im Kontext von Förderprogrammen eingesetzt.

Konzeptionell kann bei Überlegungen zu einer Anforderungssystematik in Deutschland eine Orientierung an der Schweiz (SIA 2040) erfolgen. Dies betrifft parallele (Haupt)-Anforderungen an die Begrenzung des Aufwands an Primärenergie, nicht erneuerbar und der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus mit zusätzlichen unverbindlichen Orientierungswerten für die betriebsbedingten und die gebäudebezogenen (grauen) Anteile. Hingewiesen wird auf eine spezielle Norm zur Ermittlung der grauen Energie (SIA 2032:2020 Graue Energie – Ökobilanzierung für die Erstellung von Gebäuden).

Hinsichtlich Art, Intensität und Tempo der Entwicklung kann eine Orientierung an Frankreich, Dänemark, Finnland und Schweden erfolgen. Von Interesse ist hier die Abfolge aus

- Schaffung eines konzeptionellen Vorlaufs auf wissenschaftlicher Basis,
- unverbindliche Erprobung von Rechenregeln,
- Einführung verbindlicher Anforderungen für öffentliche Bauvorhaben,
- Einführung einer verbindlichen Ermittlung und Wertangabe (ohne Bewertung),
- Einführung verbindlicher Anforderungen zur Begrenzung von Energieaufwand und Treibhausgasemissionen mit integriertem Absenkpfad in Richtung Treibhausgasneutralität⁸.

Es wird empfohlen, den Informationsaustausch mit den Ländern zu intensivieren. Angeknüpft werden kann an einen Erfahrungsaustausch mit Finnland, Dänemark, Frankreich, Österreich und Schweiz unter Mitwirkung von Bau-, Wirtschafts- und Umweltministerium am 26./27.11.2020, organisiert im Kontext des Projekts zum deutschen Beitrag für IEA EBC Annex 72 durch Vertreter des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT). Ergebnisse liegen am KIT vor.

Unabhängig von nationalen Initiativen sieht der Entwurf zur EPBD mit Stand 15.12.21 die Einführung einer Berechnung und Darstellung der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus von Gebäuden 2027/2030 vor. Entsprechende Informationen sollen gemäß Entwurf ab dann in den Energieausweis integriert werden.

Das Thema eignet sich für eine internationale Kooperation und Zusammenarbeit.

⁸ Analysen im Rahmen des unter anderem am, KIT bearbeiteten Projekts zum IEA EBC Annex 72 haben ergeben, dass es in einzelnen Ländern unterschiedliche Definitionen, Systemgrenzen, Rechen- und Nachweisregeln zur Treibhausgasneutralität gibt. Berichte dazu werden Ende 2022 veröffentlicht.

3 Vorschlag zum möglichen Vorgehen

3.1 Vorüberlegungen

Deutschland soll 2045 klimaneutral sein. Entsprechende Anforderungen sollten ab 2025 die Neubau- und Modernisierungsplanung beeinflussen. Ab dann neu errichtete bzw. modernisierte Gebäude werden voraussichtlich bis 2045 nicht nochmals modernisiert, ihre Energieversorgung kann jedoch noch angepasst werden. Die von vielen Wissenschaftlern mitgetragene „Grazer Deklaration für Klimaschutz im Baubereich“ (SBE19 Graz 2019) und die „Monte Verita Deklaration“ des IEA EBC Annex 72 (IEA/EBC 2021) sprechen sich jeweils für eine Einführung verbindlicher Anforderungen zur Begrenzung der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus von Gebäuden bis 2025 aus. Vorgeschlagen wird zusätzlich die Vorgabe eines Absenkpfeils, der bis 2035 zu treibhausgasneutralen Gebäuden führen soll.

In Deutschland werden Methoden zur ökobilanziellen Betrachtung des Gebäudelebenszyklus mit der zusätzlichen Berücksichtigung der gebäudebezogenen Umweltwirkungen in den Bewertungssystemen für Nachhaltiges Bauen seit ca. 15 Jahren angewandt und weiterentwickelt. Zu nennen sind das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen des Bundes (BNB), das Zertifizierungssystem der DGNB, das Qualitätssiegel für Nachhaltigen Wohnungsbau (NaWoh e.V.) und das Zertifizierungssystem Kleinhausneubau (BNK). Werkzeuge und Berechnungsgrundlagen sind als kostenfreies Tool (eLCA) bzw. Datenbank (ÖKOBAUDAT) verfügbar. Auf Basis der Erfahrungen aus der Zertifizierung wurden für das Qualitätssiegel „Nachhaltiges Gebäude“ (QNG), das Voraussetzung für eine Förderung durch die KfW darstellt, die Bilanzierungsmethoden für die Ökobilanz des Gebäudelebenszyklus nochmals geschärft und anspruchsvolle Bewertungsmaßstäbe erarbeitet.

Die Konstruktion (KG300) wird hierbei möglichst vollständig und individuell erfasst und die damit verbundenen Umweltwirkungen in definierten Lebenszyklusmodulen berücksichtigt. Die technische Ausstattung wird über einen Sockelbetrag und individuelle Abbildung größerer technischer Anlagen ermittelt. Ausgangsbasis für die Ermittlung der Umweltwirkungen durch den Gebäudebetrieb ist der nach DIN V 18599 berechnete Energiebedarf nach Energieträgern. Zusätzlich wird ein pauschaler Ansatz für den Nutzerstrom berücksichtigt. Die Betrachtung integriert die Berechnungen des GEG in eine umfangreichere Berücksichtigung von Produkten und Prozessen und von Umweltwirkungen.

Aus Sicht der Bearbeiter dieser Studie ist naheliegend, die Ansätze zur Integration einer ökobilanziellen Bewertung in das Ordnungsrecht auf Basis der bestehenden Systemgrenzen und Rechenregeln des Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude zu entwickeln. Möglichkeiten einer weiteren Vereinfachung sind dabei zu prüfen und werden bereits in diesem Bericht diskutiert. Ein möglicher Ansatz ist die Wahlfreiheit zwischen einem stark vereinfachten Verfahren mit Sicherheitszuschlägen und einem ausführliches Berechnungsverfahren genaueren Ergebnissen.

Zunächst ist jedoch zu klären, in welchem Verhältnis die Methoden der Ökobilanzierung von Gebäuden zu den aktuellen und künftigen Anforderungen des GEG stehen und wie eine Integration der ökobilanziellen Bewertung erfolgen könnte. Hierfür werden zunächst wesentliche systematische und methodische Unterschiede untersucht und anhand dieser mögliche Vorgehensweisen aufgezeigt. Zu folgenden Punkten sind Vorüberlegungen erforderlich:

- Welche besonderen Anforderungen unterscheiden die Anwendung der Ökobilanzbewertung des Lebenszyklus im Ordnungsrecht von Anwendungen in Bewertungssystemen für Nachhaltiges Bauen?
- In welchem Verhältnis steht die ökobilanzielle Bewertung im Lebenszyklus zu den Anforderungen des GEG? Welche Unterschiede sind signifikant und ggf. in den Überlegungen zu berücksichtigen?
- Welche Methoden zur Vereinfachung sind denkbar und wie sind diese zu beurteilen?

3.1.1 Anforderungen im Kontext des Ordnungsrechtes

Eine Nutzung der angewandten Ökobilanzierung erfolgt bisher in Nachhaltigkeitsbewertungssystemen. Bis auf eine verpflichtende Anwendung für Baumaßnahmen des Bundes ist deren Nutzung freiwillig. Während in den Bewertungssystemen neben der möglichen Qualitätssicherung vor allem die Außenwirkung im Vordergrund steht, erfolgt im QNG ein zusätzlicher Anreiz durch eine finanzielle Förderung. Rechtliche Konsequenzen beim möglichen Verfehlen von Zielwerten sind jeweils zu befürchten.

Auf Grund der rechtlichen Verbindlichkeit sind an eine ordnungsrechtlich eingeführte Methode noch höhere Anforderungen zu stellen, als sie bisher bei wissenschaftlichen Analysen üblich war. Dies betrifft die Eindeutigkeit der Rechenregeln ebenso wie die Korrektheit und Prüfbarkeit der Ergebnisse. Diese Anforderungen lassen sich übertragen auf einzusetzende Bewertungshilfsmittel, die sowohl zuverlässig als auch praxistauglich sein müssen. Weitere Anforderungen sind zu richten an die Korrektheit und Eindeutigkeit bereitzustellender Daten – aktuell wird an der Bereitstellung von „Rechenwerten“ gearbeitet. Anforderungswerte müssen mit Methode, Systemgrenzen, Datengrundlagen und politischen Zielen korrespondieren. Methode inkl. Systemgrenzen, Daten und Anforderungswerte/Benchmarks bilden eine untrennbare Einheit.

Bei einer Einführung in das Ordnungsrecht als Breitenanwendung ist es notwendig, dass die Mehrzahl der Planerinnen und Planer ausreichend qualifiziert sein muss und auf ausreichend viele Anbieter entsprechender Dienstleistungen zugreifen kann.

Der Aufwand zur ökobilanziellen Bewertung sollte einem entsprechenden Nutzen gegenüberstehen und eine deutliche Lenkungswirkung in Richtung Ressourcenschonung und Klimaschutz auch bereits in frühen Planungsphasen erzielen. Das Erstellen einer Gebäudeökobilanz erfordert eine umfassendere Datenbereitstellung (zum Beispiel geometrische Daten auch zu Innenbauteilen sowie umweltbezogene Baustoff- bzw. Bauteil- und Anlagenkennwerte) als bislang im Ordnungsrecht erforderlich.

Die Bearbeitung einer Ökobilanz übersteigt häufig die fachliche Kompetenz der Personen, die einen energetischen Nachweis für die Betriebsphase von Gebäuden im Sinne des eingeführten Ordnungsrechts führen. Darüber hinaus sind damit zusätzliche Honorarkosten verbunden. Vor diesem Hintergrund ist zu untersuchen, welcher Aufwand durch Datenerfassung, Dateneingabe und Durchführung der ökobilanziellen Bewertung entsteht und ob eine vereinfachte Bewertung unter Verwendung zur Verfügung stehender Methoden und Kennwerte möglich ist, bei ausreichender Qualität und Aussagekraft der Ergebnisse.

Der Übergang von einer bisherigen Betrachtung der Betriebsphase im aktuellen GEG zur Erfassung des vollständigen Lebenszyklus von Gebäuden ist mit deutlicheren Veränderungen verbunden. Die nachfolgenden Tabellen 1 bis 3 erläutern Aufwand, Lenkungswirkungen und Mehrwert.

Nr.	Zusatzaufwand	Stand der Entwicklung / Ausblick
A1	Erweiterter Bedarf an Ökobilanzdaten für Bauprodukte und Bauprozesse	Liegt mit ÖKOBAUDAT vor, wird vom BBSR dauerhaft aktualisiert, Veröffentlichung leicht zugänglicher Rechenwerte in Planung, Erweiterung in ausgewählten Produktgruppen (zum Beispiel TGA) notwendig
A2	Erweiterter Bedarf an Rechen- und Nachweisregeln	Liegt mit dem QNG für neue Wohngebäude, Nichtwohngebäude und Umbauten vor. Eine Anpassung der DIN 18599 bezüglich des Umgangs mit gebäudeintegrierten / gebäudenahen BIPV-Anlagen zur solaren Stromerzeugung wird erforderlich.
A3	Erweiterter Bedarf an Szenarien / Konventionen / Festlegungen (unter anderem zu exportierter Energie)	Liegt mit Anforderungen an das QNG für neu zu errichtende Wohngebäude, Nichtwohngebäude und Umbauten vor.
A4	Erhöhter Aufwand in der Planung durch Erstellung einer Ökobilanz	Lässt sich durch Einsatz geeigneter Berechnungshilfsmittel reduzieren, Anknüpfung an Energiebedarfsrechnung bzw. Kostenermittlung, BBSR stellt eLCA zur Verfügung
A5	Erhöhte Planungskosten durch Erstellung einer Ökobilanz	Planerinnen und Planer schlagen Übernahme in Grundleistungen nach HOAI vor

Tabelle 1 Einschätzung des Zusatzaufwandes für die Etablierung einer Lebenszyklusperspektive

Nr.	Lenkungswirkung	Stand der Entwicklung / Ausblick
N1	Durch Baustoff- u. Produktmix, durch performanceorientierte Anforderungen , die Vorteile erneuerbarer, recycelter oder low-carbon Produkte sichtbar machen	Diverse Versuche für Vorgaben zur Nutzung von Holz/Biomasse oder von Recyclingprodukten könnten durch performanceorientierte und technologieoffene Vorgaben abgelöst werden
N2	Erschließung von Einspar- und Minderungspotenzialen in der sektorübergreifenden Betrachtung	Aktuell bei Sektorzielen nur Reduzierung <i>direkter</i> Emissionen im Betrieb beschreib- und anrechenbar, eröffnet u. U. Verhandlungsspielräume mit Ministerien / Branchen / Sektoren zur Aufteilung von Minderungspotenzialen bei Nutzung von low-carbon Produkten
N3	Lenkungswirkung in Richtung des Erhalts und der Weiternutzung vorhandener Bausubstanz	Bisher diffuses Meinungsbild ohne Nachweis ökologischer Vorteile, Vorteile der Weiternutzung vorhandener Bausubstanz können in der Ökobilanz abgebildet werden, bei gleichzeitig komplexer werdendem Ökobilanzmodell

Tabelle 2 Lenkungswirkungen für die Entwicklung

Nr.	Mehrwert	Stand der Entwicklung Ausblick
M1	Erstellung von Materialauszügen und -inventaren sowie Ressourcenpässen ⁹ nahezu ohne Mehraufwand ¹⁰	Diskussionen zur Kreislaufwirtschaft bisher ohne erkennbare Konsequenzen; Herstellung des Zusammenhangs zwischen Klimaschutz und Ressourcenschonung wird unterstützt
M2	Ermittlung der THG-Emissionen im Lebenszyklus / des carbon footprint ¹¹ für Dritte auf Basis gesicherter Grundlagen	TAXONOMY fordert Angabe des carbon footprint / GWP bei Großprojekten ¹² , mittelfristig ggf. auch Wertermittlung. Entwurf zur Gebäudeenergie-Effizienzrichtlinie (EPBD) sieht künftig Angabe der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus/des carbon footprint im Energieausweis vor
M3	Ermittlung des carbon content als in Gebäuden gespeicherter biogener Kohlenstoff ¹³	Bisher nur qualitativ geführte Diskussion zu Vorteilen des Einsatzes von Biomasse wird durch quantitative Angaben unterstützt.

Tabelle 3 Mehrwerte für Marktanzreize

Aus Sicht der Bearbeiter rechtfertigen Lenkungswirkung und Mehrwert den Zusatzaufwand, insbesondere dann, wenn Ressourcenschonung und Klimaschutz ein überragendes öffentliches Interesse zuerkannt werden. Auf den zu erwartenden Zusatzaufwand in Form ggf. höherer Planungskosten wird später noch eingegangen. Bei deren Würdigung sind Unterschiede bei Planungskosten von Wohn- und Nichtwohngebäuden zu beachten. Es wird davon ausgegangen, dass dieser Zusatzaufwand (1) bei der Analyse der Neubauförderung genauer beziffert (2) mittelfristig durch die Nutzung geeigneter Planungshilfsmittel und die wachsende Erfahrung der Bearbeiter reduziert werden kann.

Es ergeben sich Synergieeffekte mit dem im Koalitionsvertrag erwähnten Ressourcenpass. Eine Ermittlung grauer Energie bzw. grauer Emissionen basiert entweder auf einem Materialauszug oder lässt diesen parallel entstehen.

Im BBSR wird die Verbesserung von Daten zum nationalen Gebäudebestand diskutiert. Über eine systematische Erfassung und Auswertung von Energieausweisen hinaus können Gebäude mit einer Ökobilanz in Verbindung mit einem Materialauszug als Typvertreter für die Beschreibung der stofflichen Zusammensetzung des Gebäudebestandes inklusive entsprechender dynamischer Veränderungen fungieren. Dies kann eine künftige Nutzung des Stofflagers Gebäudebestand als Rohstoffquelle (urban mining) unterstützen.

9 Siehe Koalitionsvertrag, S. 90: „...führen wir einen digitalen Gebäuderessourcenpass ein.“

10 Materialauszüge, Materialinventare und/oder Ressourcenpässe sind bisher nicht eindeutig definiert. Es besteht jedoch das Ziel, sie einzuführen. Je nach Betrachtung ist ein Materialauszug Grundlage oder Ergebnis einer Ökobilanz – liegt also vor. Der Materialauszug ist Basis für einen Ressourcenpass. Die Datengrundlage ist damit deckungsgleich mit einer Ökobilanz.

11 Carbon footprint ist eine alternative Bezeichnung für die Summe der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus, dargestellt als global warming potential (GWP 100) und gemessen in kg CO₂-Äquivalenten. Siehe auch ISO 14067: 2018

12 „...Bei Gebäuden mit einer Fläche von mehr als 5.000 m² wurde das Lebenszyklus-Treibhauspotenzial (GWP) des errichteten Gebäudes für jede Phase im Lebenszyklus berechnet und wird gegenüber Investoren und Kunden auf Nachfrage offengelegt...“ Taxonomy, Anhang I, 7.1, (3) (European Commission 2020)

13 Bisher nicht in ordnungsrechtliche Überlegungen einbezogen, jedoch in kommunalen Förderprogrammen bereits berücksichtigt. Denkbar ist eine Nutzung als Information in Nachhaltigkeitsbewertungssystemen und/oder in Form eines „Verschlechterungsverbots“.

3.1.2 Ablauf der ökobilanziellen Bewertung eines Gebäudes

Im Grundsatz muss zwischen der Erstellung einer Ökobilanz im engeren Sinne und einer ökobilanziellen Bewertung von Gebäuden unter Nutzung von Methoden der angewandten Ökobilanzierung unterschieden werden. Eine Ökobilanz im engeren Sinne orientiert sich an DIN EN ISO 14040 und DIN EN ISO 14044. Sie wird häufig erstellt, um für Bauprodukte aller Art die Daten zur Verfügung zu stellen, die für die Veröffentlichung einer Umweltproduktdeklaration benötigt werden. Der konkrete Bezug zu den Besonderheiten von Bauprodukten und die Anforderungen an eine EPD ergibt sich aus DIN EN 15804. Im Unterschied dazu wird für die ökobilanzielle Bewertung von Gebäuden zwar der Begriff der Ökobilanzierung genutzt, eine Ökobilanz wird jedoch im übertragenen Sinne erstellt. Im Kern werden das Gebäude und sein Lebenszyklus modelliert, um in unterschiedlicher Granularität die Energie- und Stoffströme zu beschreiben, entsprechende Mengen werden identifiziert und ermittelt. Dies entspricht im übertragenen Sinne einer Sachbilanz. Ermittelte Mengen zu identifizierten Produkten, Prozessen und Dienstleistungen werden anschließend mit zutreffenden und vorzugsweise qualitätsgeprüften Daten aus Datenbanken oder von Herstellern verknüpft. Dieser Schritt entspricht einer Wirkungsbilanz. Bei Nutzung geeigneter und praxiserer Planungs- und Bewertungshilfsmittel ist für die Nutzung von Methoden einer angewandten Ökobilanzierung keine detaillierte Kenntnis der einschlägigen Normen oder der wissenschaftlichen Grundlagen der Ökobilanzierung erforderlich. Ausgangspunkte für die Entwicklung von Hilfsmitteln sind Softwarelösungen für die Kostenermittlung bzw. für die Energiebedarfsberechnung und GEG-Nachweisführung. Die Prozesse der Qualitätssicherung und Kennzeichnung geeigneter Hilfsmittel wurden mit Stand Sommer 2022 bereits in Gang gesetzt. Kurzfristig ist mit einer Zunahme der Anzahl von Berechnungstools zu rechnen. Im Kontext von BNB und DGNB werden Hilfsmittel bereits langjährig eingesetzt, ein erstes auf der EXPO Hannover 2000 (König et al 1999) vorgestellt.

Für die Übernahme der Leistungen sind unter anderem folgende Möglichkeiten gegeben: Zum einen kann die Lebenszyklusanalyse als Leistung der Objektplanung verstanden werden, die zusätzlich zu der Kostenermittlung für die Herstellung ebenso die Ermittlung der Umweltwirkungen leistet. Zum anderen kann das Leistungsspektrum der Energieberatung um die Betrachtungen der Umweltwirkungen der Konstruktion erweitert werden. Aus Kapazitätsgründen sind sicher beide Wege zu verfolgen.

3.1.3 Möglichkeiten zur Reduzierung des Bearbeitungsaufwands

Die Identifikation von Möglichkeiten zur Reduzierung des Bearbeitungsaufwands bei der Datenerhebung und ökobilanziellen Bewertung ist ein Ziel dieser Ausarbeitung. Damit stellen sich Fragen nach

- 1) einer Referenz (Vereinfachung gegenüber was?);
- 2) einer Typologie von Vereinfachungsmöglichkeiten und
- 3) der Abschätzung der Vorteile und Risiken von Vereinfachungen.

Eine Grundanforderungen an die Bearbeitung ist die deutliche Verringerung der notwendigen Bearbeitungszeit für eine Ökobilanz (LCA) und damit die Begrenzung von Planungskosten bei noch ausreichender Qualität und Richtungssicherheit der Bewertungsergebnisse. Im Unterschied zur Kostenermittlung gibt es in der Ökobilanzierung noch keine allgemein anerkannten Erfahrungen und Vorgaben zur möglichen / notwendigen Genauigkeit in einzelnen Phasen der Planung. Entscheidend für die hier vorliegende Ausarbeitung ist zunächst die Genehmigungsplanung.

Vereinfachungen im weitesten Sinne können bestehen in der Nutzung von:

- Synergieeffekten bei der Flächen-, Mengen- und Massenermittlung, zum Beispiel Kostenermittlung, Erstellung eines Materialauszugs/Ressourcenpasses
- vereinfachten Gebäudemodellen (zum Beispiel Abschneidekriterien, Pauschalen, Übermessungen)

- vereinfachten Lebenszyklusmodellen (Vernachlässigung von Modulen mit geringem Einfluss auf das Gesamtergebnis)
- Ausschlusskriterien (Ausschluss von klimaschädlichen Kältemitteln statt rechnerischer Berücksichtigung)
- hinsichtlich ihrer Anzahl begrenzten Indikatoren (zum Beispiel Konzentration auf GWP 100)
- geeigneter Software (speziell für die Ökobilanzierung bzw. gekoppelt an die Kostenermittlung oder Energiebedarfsrechnung)
- Möglichkeiten einer Integration in CAD-Programme unter Nutzung des vollständigen Gebäudemodells
- Möglichkeiten einer Integration in BIM (Cavalliere et. al. 2019: 941–952), (Nanewa ohne Jahr)P
- Tabellenlösungen (in Anlehnung an das Modellgebäudeverfahren (EnEV easy) (BBSR 2021a) und an SNARC (SIA 2004) für graue Anteile)

Die Vielschichtigkeit der Thematik von Vereinfachungen wird an folgendem Beispiel deutlich: In der Vergangenheit war die überschlägige Ermittlung der Haustechnik (KG 400) weniger eine Vereinfachung denn eine Notlösung. Teilweise wurde die Haustechnik als Prozentsatz des baulichen Anteils abgeschätzt. Im QNG wurde eine Kombination aus einer ökobilanziellen Bewertung von Großkomponenten und einer Einbeziehung von „Sockelbeträgen“ zur Berücksichtigung sonstiger Kleinkomponenten eingeführt. Gegenüber der prozentualen Abschätzung ist dies keine Vereinfachung, sondern die deutliche Verbesserung der Genauigkeit des Modells und der Herstellung des Zusammenhangs zu Planungsentscheidungen. Gegenüber einer detaillierten Erfassung der Haustechnik stellen „Sockelbeträge“ eine große Vereinfachung im Kontext von b) dar.

Im Kontext von c) vereinfachtes Lebenszyklusmodell wird bei BNB und QNG auf die Ermittlung von A4, A5, B1, B2, B3, C1 und C2 verzichtet. D1 und D2 werden zwar ermittelt, in der Bewertung aber derzeit nicht berücksichtigt. Damit ist theoretisch eine weitere Option für eine Reduzierung des Bearbeitungsaufwandes gegeben.

Eine alleinige Konzentration auf A1-A3 wird nicht empfohlen, es käme zu Verzerrungen durch die nicht berücksichtigten Unterschiede bei den Nutzungsdauern von Bauwerksteilen. Im Kontext von f) (Software) wird durch das BBSR das Berechnungshilfsmittel eLCA (BBSR, Referat WB6 ohne Jahr) zur Verfügung gestellt. Zusätzlich existieren Softwareangebote Dritter. Bei i) (Tabellenverfahren) ergeben sich ggf. auch Nachteile. Möglichkeiten der parallelen Erstellung von Materialauszügen müssten dann u. U. aufgegeben werden.

Der Erprobung von Möglichkeiten und Konsequenzen einer Vereinfachung von Datenerhebung und Ökobilanzierung sind Gegenstand weiterer Teile dieser Ausarbeitung.

3.1.4 Auswirkungen auf Datenbedarf

Sämtliche Geometriedaten (inkl. für Innenbauteile) sind Bestandteil einer regulären Planung und Kostenermittlung. Entsprechende Daten werden durch die Objektplanung ermittelt und sind daher vorhanden. In Abhängigkeit von der konkreten Baumaßnahme ist es denkbar, dass Planende unter Nutzung geeigneter Hilfsmittel selbst eine ökobilanzielle Bewertung vornehmen.

Wird die Ökobilanzierung durch einen Energieberater/Bauphysiker erstellt, müssen die gegenüber einem energetischen Nachweis zusätzlich zu erhebenden Daten ggf. in der Planung an diesen übergeben werden. Das betrifft unter anderem die Daten zu Fundamenten, unbeheizten Bereichen, Innenwänden und -decken.

Die Daten zu Flächen sowie Art und Menge eingesetzter Bauprodukte müssen mit entsprechenden Ökobilanzdaten verknüpft werden. Diese können im Grundsatz der Datenbank ÖKOBAUDAT entnommen werden. Diese Datenbank ist frei zugänglich und wird seit Jahren permanent weiterentwickelt und qualitätsgesichert. Die ÖKOBAUDAT gilt in Europa als vorbildlich und wird von Ländern wie Dänemark genutzt – auch im Kontext verbindlicher Berechnungen.

Die Schweiz bietet ein ähnliches Vorgehen an und stellt Daten als Excel-Liste (KBOB 2022) zur Verfügung.

Die ÖKOBAUDAT muss in Teilen noch ergänzt werden (insbesondere Haustechnik), und könnte perspektivisch in einen Teil Rechenwerte für frühe Phasen sowie „spezifische Werte“ unterteilt werden.

Es ist zu beachten, dass die spezifischen Werte den Umweltproduktdeklarationen (EPD) von Produktherstellern entsprechen. Die EPDs werden gemäß DIN EN 15804 erzeugt. Dies bedeutet, dass Anforderungen an Dateninformationen im Einklang mit dieser Norm stehen müssen. Eine Umstellung der ÖKOBAUDAT von DIN EN 15804 A1 auf DIN EN 15804 A2 ist bereits erfolgt. Allerdings ist die Bereitstellung entsprechender Daten nach DIN EN 15804 A2 durch die Industrie und Verbände erforderlich. Derzeit werden die Daten in beiden Normversionen angeboten. Berechnungsgrundlage und Anforderungen sind immer auf einer identischen Datenbasis aufzubauen, die angegeben werden muss. Es ist derzeit davon auszugehen, dass eine künftige Bauproduktenverordnung eine Bereitstellung von Informationen, die in Art und Umfang den Indikatoren der DIN EN 15804 A2 verpflichtend einführen wird.

Im Sinne eines Ausblicks ist anzustreben, dass hersteller- und produktspezifische Daten zu Produkten und Systemen jeweils mit dem konkreten Angebot übermittelt werden. Für neu entwickelte Produkte und Systeme wird eine entwicklungsbegleitende Nachhaltigkeitsbewertung inklusive Ökobilanzierung empfohlen. Bei einer Förderung einer Produktentwicklung ist das Bereitstellen einer Umweltproduktdeklaration / Environmental Product Declaration (EPD) auf Basis einer Ökobilanz bei Eintritt der Marktreife eine mögliche Anforderung.

3.1.5 Verfügbarkeit von Expertinnen und Experten

Für die Umsetzung ordnungsrechtlicher Anforderungen müssen qualifizierte Planer oder Fachplaner zur Verfügung stehen bzw. der Workflow der Bearbeitung derart gestaltet sein, dass Planer und Fachplaner diese ohne erhebliche Weiterqualifikation durchführen können.

Die Bearbeitung der angewandten Ökobilanzierung erfolgt in den Systemen DGNB und BNB derzeit durch speziell qualifizierte Auditoren bzw. Nachhaltigkeitskoordinatoren. Für das Qualitätssiegel NaWoh ist für eine Einreichung der Unterlagen zur Konformitätsprüfung kein gesonderter Nachweis der Fachkunde erforderlich.

Die bekanntesten und damit größten Ausbilder im Bereich Nachhaltiges Bauen sind die DGNB und das Steinbeis-Institut. Bei der DGNB sind ca. 800 Auditoren gelistet, Stand 07.10.2022 (DGNB 2022), beim Steinbeis-Transfer-Institut sind 208 Sachverständige gelistet (STI Bau- und Immobilienwirtschaft 2022). Daneben bieten auch Architektenkammern Ausbildungslehrgänge an. Bei der Architektenkammer Niedersachsen sind 25 Koordinatoren nachhaltiges Planen und Bauen gelistet (AKNDS 2022). Dabei ist zu beachten, dass die Nachhaltigkeitskoordination insgesamt deutlich umfangreicher ist, als die Erstellung einer Ökobilanz, die nur einen Ausschnitt des Leistungsspektrums darstellt.

In der Energieeffizienz-Datenbank des Bundes (DENA 2022) sind für Wohngebäude 11.075 und für Nichtwohngebäude 3.977 Expertinnen und Experten gelistet. Diese sind berechtigt, Nachweise für die Beantragung von Fördermitteln für Energieeffiziente Baumaßnahmen über KfW- oder BAFA-Förderungen zu führen.

Für den öffentlich-rechtlichen Nachweis nach GEG ist ein noch deutlich größerer Personenkreis entsprechend § 88 Ausstellungsberechtigung für Energieausweise GEG berechtigt. Ein darüber hinaus gehender, gesonderter Nachweis oder eine individuelle Prüfung der Voraussetzungen erfolgt nicht. Im Ordnungsrecht besteht die Anforderung, dass die Nachweisführung dermaßen gestaltet sein muss, dass ein breiter Anwenderkreis den Nachweis hinreichend sicher führen kann.

Im Kontext der Neubauförderung mit der Nachhaltigkeitsklasse hat sich die Nachfrage nach qualifizierten Fachleuten für Nachhaltiges Bauen nochmals deutlich verstärkt. Es ist damit zu rechnen, dass dadurch das Interesse an Weiterbildungsmaßnahmen deutlich steigt. Hierfür bieten die unter anderem die DGNB, das Steinbeis-Institut, aber auch Ökozentrum NRW und Kammern Möglichkeiten an. Auch an Hochschulen und Uni-

versitäten werden Lehrangebote für Nachhaltiges Bauen und Lebenszyklusanalyse verstärkt unterbreitet. 13F Am Lehrstuhl für Ökonomie und Ökologie des Wohnungsbaus am Karlsruher Institut für Technologie sind zum Beispiel Vorlesungen und Übungen zur Ökobilanzierung seit Ende 2000 Teil des Lehrangebots. Dies schließt die Ausbildung im Bereich der angewandten Ökobilanzierung ein. Die jetzt stattfindende Weiterqualifizierung befähigt die Planer und Planerinnen perspektivisch, auch einen ordnungsrechtlichen Nachweis zu führen. Gleichzeitig werden bereits entsprechende Softwarelösungen entwickelt, die sowohl einen entsprechenden Bearbeitungskomfort bieten und Plausibilitätsprüfungen integrieren sollen.

An Fragen zur Verfügbarkeit einer ausreichenden Anzahl von qualifizierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern einer ökobilanziellen Bewertung (Experten) kann wie folgt herangegangen werden:

- Ausgangspunkt für die Erstellung von Ökobilanzen sollte das Aufgabenspektrum von Planerinnen und Planern sein, nicht das von Energieberatern. Weder der Nachweis der Erfüllung der Anforderungen des GEG noch die Durchführung einer Ökobilanz ist automatisch an die Mitwirkung von Energieberatern, Bauphysikern oder Nachhaltigkeitsexperten gebunden. Selbstverständlich kann aber die Leistung der Ökobilanzierung durch spezialisierte Dienstleister angeboten und übernommen werden.

Im Unterschied zur Vergangenheit spielt die Vermittlung von Grundlagen der Ökobilanzierung in der Aus- und Weiterbildung von Planern eine Rolle. Viele (Stiftungs-) Lehrstühle an Architekturfakultäten zum Nachhaltigen Bauen haben dazu beigetragen, die Weiterbildungseinrichtungen der Kammern bieten entsprechende Themen an. Eine Befragung von Architektinnen und Architekten in Deutschland (Umfrage im Rahmen von IEA Annex 72 am KIT) ergab die Bereitschaft zur Erstellung von Ökobilanzen im Rahmen der Planung unter folgenden Voraussetzungen:

- (1) klare, vorzugsweise gesetzliche Anforderungen,
- (2) Beauftragung durch den Bauherrn,
- (3) angemessene Honorierung,
- (4) Verfügbarkeit geeigneter Daten und Hilfsmittel.

Diskutiert wird in den Kammern unter anderem die Berücksichtigung in den Grundleistungen nach HOAI. Notwendig ist auch die Aus- und Weiterbildung der mit der Prüfung beauftragten Mitarbeiter.

- Die im Rahmen der festgelegten Systemgrenzen erfolgende Erfassung eines Gebäudes ist Aufgabe der Planung, der Kostenermittlung, der Ausschreibung und der Objektdokumentation. In den traditionellen Berechnungen im Kontext energetischer Nachweise wird das Gebäude nicht direkt komplett abgebildet. Nicht berücksichtigt werden in der Regel Fundamente, unbeheizte Bereiche, Zwischenwände und -decken. Deren Berücksichtigung kann jedoch im Zusammenhang mit der Abschätzung der Speichermasse oder mit Belüftungsfragen erfolgen. Energieberater sind bei einer entsprechenden Zusatzausbildung für die Erstellung von Ökobilanzen geeignet. Dies trifft aber auch für Planer und insbesondere Kostenplaner zu. Beide sind dann in der Regel auf Zuarbeiten der Bauphysiker/Energieberater angewiesen. Im Idealfall stellt sich eine Arbeitsteilung Energieberater (betriebsbedingter Anteil) und Kostenplaner (gebäudebezogener Anteil) ein.
- Die Baugenehmigung basiert auf der Entwurfs-/Genehmigungsplanung. Bei Fertigstellung ist es zusätzlich notwendig, einen Energieausweis, eine Ökobilanz und ein Materialinventar zu erstellen, die dem Stand „wie gebaut“ entsprechen. Diese Dokumente werden Teil der Objektdokumentation bzw. einer Hausakte (siehe auch Hinweise auf das digital logbook im Entwurf zur EPBD).
- Mehr und mehr werden den Planerinnen und Planern komplexe Planungs- und Bewertungshilfsmittel zur Verfügung gestellt – bis hin zu BIM-Lösungen. Damit muss das Augenmerk weniger auf der Modellierung und Bewertung, sondern auf der Interpretation der Bewertungsergebnisse mit Rückkopplung zu Pla-

nungsentscheidungen bei der Überarbeitung von Entwurfsvarianten liegen. Dies spricht für eine unmittelbare Integration in den Planungsprozess.

- Inhaltlich ist die Ökobilanzierung näher an der (Lebenszyklus-)Kostenermittlung als an der Energiebedarfsberechnung. Die Energiebedarfsrechnung ist jedoch ein wichtiger Teil und deckt heute ca. 50 % der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus ab. Eine gleichzeitige Bearbeitung von Lebenszykluskosten und Ökobilanz wird mittelfristig ausdrücklich empfohlen, ergänzt um ein Materialinventar. Die Ermittlung der Bau- und Lebenszykluskosten inkl. der CO₂-Preise (und ggf. eine Einbeziehung von externen Kosten (Klimakosten bzw. Umweltkosten) bzw. Schattenpreisen) wird sich auf die Beachtung des Wirtschaftlichkeitsgebots auswirken. Die wachsende Bedeutung der Lebenszykluskostenrechnung wird aus dem Koalitionsvertrag 2021 deutlich. Vorstellbar ist die Integration derartiger Aufgaben in eine komplexe Planungsleistung, die mit geeigneten Hilfsmitteln unterstützt werden muss.

3.2 Herangehensweise

Um ein Verständnis für die Herausforderungen der Integration einer ökobilanziellen Bewertung in den Planungsprozess zu erzeugen, wird nachstehend ihr Ablauf erläutert.

Wesentliche Festlegungen zu Art und Größe von Bauvorhaben, der Kubatur und Bauweise, des energetischen Standards und der Energieversorgung und der Fensterflächenanteile werden zum Teil bereits in der Bedarfsplanung, spätestens aber in der Vorplanung entschieden und festgelegt. Diese sind Stellschrauben für den späteren Endenergiebedarf des Bauvorhabens und die resultierenden Umweltwirkungen des gebäudebezogenen und des betriebsbedingten Anteils. Diese Festlegungen werden in der Regel durch Bauherrn getroffen und in der Planung in einem Vorentwurf umgesetzt. Wichtig ist hier der Hinweis, dass sich anspruchsvolle Anforderungswerte, wie sie aktuell im QNG formuliert werden, nur durch eine planungsbegleitende Herangehensweise erreichen lassen. Dies erfordert unter anderem bereits in frühen Planungsphasen eine ökobilanzielle Bewertung vorzunehmen. Ziel ist dabei nicht nur die Bewertung, sondern eine gezielte Beeinflussung der Entwurfsvarianten.

Sobald eine Mengenermittlung erstellt wird, besteht die Möglichkeit, eine Ökobilanzierung des gebäudebezogenen Anteils durchzuführen. Benötigte Daten werden in der Regel in der Planung bereits für die Kostenermittlung erhoben. Notwendig ist die Verknüpfung von Angaben zu Art und Menge verbauter Produkte, Bauteile und technischen Systeme mit entsprechenden Datensätzen der ÖKOBAUDAT, künftig mit definierten Rechenwerten für frühe Planungsphasen. So können die Umweltwirkungen durch den gebäudebezogenen Anteil ermittelt werden.

Erforderlich ist hierfür die Zuordnung der Datensätze mit umweltrelevanten Information (unter anderem Ökobilanzdaten) der Bauprodukte. Diese Zuordnung wird zeitnah durch die Bereitstellung von Rechenwerten vereinfacht. Noch vorhandene Datenlücken bei hersteller- und produktspezifischen Angaben sind nicht der ÖKOBAUDAT anzulasten. Sie sind Ergebnis fehlender Angaben von Verbänden und Herstellern. Die ÖKOBAUDAT stellt für frühe Phasen generische Werte zur Verfügung, die für diesen Zweck gut geeignet sind. Im weiteren Verlauf der Planung und insbesondere für die Dokumentation können diese durch hersteller- und produktspezifische Angaben ergänzt werden.

Eine weitere Herausforderung für eine Ökobilanzierung in frühen Planungsphasen ist die Einschätzung des Endenergiebedarfs in der Betriebsphase des zu bewertenden Gebäudes. Die Festlegung eines höheren energetischen Standards – beispielsweise als Effizienzhaus 40 – lässt nicht zwingend Rückschlüsse auf den exakten Endenergiebedarf zu, da es sich lediglich um eine relative Bewertung der Energieeffizienz im Hinblick auf einen spezifischen Referenzwert handelt, die spätere Bewertung der Umweltwirkungen sich jedoch aktuell auf feste Anforderungswerte bezieht. In der Phase der Genehmigungsplanung liegen die Ergebnisse im Rahmen

ohnehin zu erbringender Nachweise vor. Erst zu diesem Zeitpunkt würden ordnungsrechtliche Anforderungen an eine ökobilanzielle Bewertung greifen.

Zum Zeitpunkt der Genehmigungsplanung kann der bauliche Anteil gegenüber dem Vorentwurf noch angepasst werden und bedarfsweise eine Detaillermittlung der Umweltwirkungen durch die TGA (KG400) erfolgen.

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, eine ökobilanzielle Bewertung des gebäudebezogenen Anteils ergänzend zur Ermittlung von Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen (sowie weiterer Umweltwirkungen) der Betriebsphase im Zuge der Objektplanung, Kostenermittlung oder Energieberatung durchzuführen.

3.2.1 Ökobilanzierung im Rahmen der Energieberatung

Das Berechnungsverfahren zur Ermittlung des Aufwands an Primärenergie, nicht erneuerbar für den unmittelbaren Betrieb des Gebäudes nach GEG ist ein etabliertes Vorgehen, dass auf Bedarfe zur Bewertung in unterschiedlichen Leistungsphasen durch die Möglichkeit der unterschiedlichen Tiefenschärfe der Eingabe abgestimmt ist. Dabei werden innerhalb der üblichen Planung spätestens ab der Leistungsphase 3 für die in der thermischen Hülle relevanten Bauteile auch Bauteilaufbauten hinterlegt. Die Erfassungen laufen dabei wie folgt:

Bereich	LPH 2	LPH 3–4	LPH5	LPH 6–9
Bauteilaufbauten thermische Hülle	Erfassung mit Kennwerten	Erfassung über Bauteilaufbauten	Erfassung über Bauteilaufbauten	Ergebnisabgleich mit gebauter Qualität
Fenster und Türen	Erfassung mit Kennwerten	Erfassung mit Kennwerten	Ermittlung detaillierter Kennwerte nach Rahmenmaterial, Glas, Randverbund	Abgleich der Ergebnisse LPH 5 mittels DIN 10077
Innenwände und Decken	Keine Erfassung notwendig			
Unbeheizte Räume	Keine Erfassung notwendig			
Gebäudetechnik	Erfassung mit Standardwerten	Erfassung mit Daten der TGA-Planung	Erfassung mit Daten der TGA-Planung	Ergebnisabgleich mit gebauter Qualität

Tabelle 4 Detaillierung der Erfassung von Komponenten nach Leistungsphasen bei GEG-Berechnungen

Besonders hervorzuheben sind hierbei zum Beispiel die Möglichkeiten zur Eingabe der Gebäudetechnik, bei der mit Standardwerten oder Werten der TGA-Planung gearbeitet werden kann. Effiziente technische Erschließungen lassen damit Optimierungen im Bereich der Energieeffizienz zu. Diese sind aber ggf. auch in Bezug auf die Sockelwerte der TGA für die Installation von Bedeutung.

Bereits im Rahmen der Energieberatung werden derzeit einzelne Aspekte vernachlässigt, dies ist jedoch unabhängig von einer Ökobilanzierung der Konstruktion zu betrachten.

Grundlagen für die Ermittlung des Energiebedarfes im Betrieb liegen für Nutzerstrom und weitere Energieverbraachern (wie zum Beispiel Aufzügen) durch Rechenregeln zum QNG vor.

Da die DIN V 18599 in der Bilanzgrenze zwischen Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden unterscheidet, sind entsprechende Konsequenzen zu beachten. Im GEG für Wohnungsbau werden der Nutzerstrom und Beleuchtungsbedarf nicht erfasst. Hierzu lässt sich ein ergänzender Datensatz aus der Beschreibung des Effizienzhaus Plus des Bundes heranziehen, der für beide Aspekte zusammen einen Strombedarf von 20 kWh/(m²a) ausweist. Dieser wird auch in der Erstellung von Lebenszyklusbetrachtungen nach QNG verwendet.

Für die Ermittlung des Nutzerstrombedarfes im Nichtwohnungsbau eignen sich hingegen typologie- oder zonenbezogene Daten besser. Mögliche Quellen dazu sind in Anlage 05 gesondert aufgeführt. Darüber hinaus bedarf es weiterer Kennwerte für Energieverbraucher, die im GEG bisher nicht berücksichtigt sind:

- Zentrale unbeheizte Zonen (zum Beispiel Tiefgarage, unbeheizte Kellerräume)
- Aufzüge
- Gebäudesteuerung
- Videoüberwachungsanlage
- Anzahl Schwachstromanlagen
- Verluste der elektrischen Energieversorgung (bei eigener Trafoanlage)

Für alle Aspekte liegen dabei Grundlagen innerhalb des TEK-Tools vor (IWU et al 2022). Darüber hinaus ist bei Aufzügen eine besonders detaillierte Betrachtung über das Forschungsprojekt „Ermittlung von Kennwerten für den Energiebedarf von Personenaufzügen in Wohn- und Nichtwohngebäuden – ein Beitrag zur Vervollständigung der Energiebilanz“ möglich (Unholzer/Michl/Lützkendorf 2015).

Um die Konstruktionsenergie abzubilden, sind darüber hinaus die Bauteile des Gebäudes mittels Ökobilanzkennwerten zu erfassen. Eine Bilanzierung nach GEG bietet dabei in weiten Teilen eine Flächenermittlung zu diesen Bauteilen, die nur noch durch Ökobilanzkennwerte der Konstruktion ergänzt werden müssten. Dabei bieten sich für die fehlenden Aspekte unterschiedliche Vorgehensweisen an.

Komponenten / Verfahren	Tabellenverfahren	Typologische Zuordnung	Aufmaß nach Planung	Kennwertermittlung aus Daten	Detaillierte Bauteilaufbauten
Innenwandflächen	X	X	X	X ¹⁴	—
Innentürflächen	X	X	X	X ¹⁵	—
Geschossdecken zwischen beheizten Geschossen	X	X	X	X ¹⁶	—
Unbeheizte Räume (Fläche)	—	X	X	X ¹⁷	—
Volumen Fundamente	X	X	X	—	—
Fenstermaterialien	X	X	X	—	—
Innenwände	X	—	—	—	X
Türmaterialien	X	—	—	—	X
Beschichtungen	X	—	—	—	X
Bauphysikalisch nicht relevante Bauteilschichten	—	—	—	—	X

Tabelle 5 Erfassung von nicht in der GEG-Bilanz enthaltenen Komponenten im Rahmen einer Ökobilanzbewertung

Ein abgestuftes Verfahren wäre dabei von Vorteil. Für eine erste Ermittlung in frühem Planungsstadium könnte eine einfache Methode, wie zum Beispiel ein Tabellenverfahren, genutzt werden. Im späteren Planungsverlauf würde dann eine genaue Berechnung mit detaillierten Kennwerten eine höhere Planungssicherheit ergeben.

Wertvoll ist dabei die Erkenntnis, dass ausgehend von der Berechnung nach DIN V 18599, jede detailliertere Eingabe immer zu einer Verbesserung der Bewertung führen muss. Somit werden die Planenden aufgefordert, die Information zum Bauteil zu verbessern. Umzusetzen wäre dies zum Beispiel durch die bewusste Setzung von Sicherheitszuschlägen für Vereinfachungen, damit die Einhaltung der Grenzwerte sichergestellt werden kann.

Ausgehend von dieser Einschätzung werden für das Vorgehen folgende Schritte denkbar. Eine erste GEG-Bilanz sollte in der Regel in LPH 2 zur Festlegung der nötigen Bauteilqualitäten und der energetischen Performance erstellt werden. Damit, und mit einer zulässigen Detaillierung, wäre eine Genauigkeit in der Regel ab LPH 3 bereits relativ hoch (Tab. 6).

14 Eingabe der Geschossigkeit, Bezugsfläche und Nutzungstypologie

15 Anzahl Räume

16 Anzahl Räume

17 Eingabe über BRI und Typologie

Komponenten / Verfahren	Tabellenverfahren	Typologische Zuordnung	Aufmaß nach Planung	Kennwertermittlung aus Daten	Detaillierte Bauteilaufbauten
Innenwandflächen	X	X	X	X ¹⁸	—
Innentürflächen	X	X	X	X ¹⁹	—
Geschossdecken zwischen beheizten Geschossen	X	X	X	X ²⁰	—
Unbeheizte Räume (Fläche)	—	X	X	X ²¹	—
Volumen Fundamente	X	X	X	—	—
Fenstermaterialien	X	—	—	—	X
Innenwände	X	—	—	—	X
Türmaterialien	X	—	—	—	X
Beschichtungen	X	—	—	—	X
Bauphysikalisch nicht relevante Bauteilschichten	—	—	—	—	X

Tabelle 6 Vorschlag für Verfahren zur Erfassung nicht in der GEG-Bilanz enthaltener Komponenten

Es entsteht eine Schnittstelle zwischen Objektplanung und Energieberatung bei Übergabe und ggf. Aufbereitung der Daten durch die Objektplanung bzw. eine zusätzliche Datenerfassung durch die Energieberatung. Es werden Kennwerte für die ökobilanzielle Bewertung der einzelnen Bauteile erforderlich. Die Bilanzierung erfolgt im Nachgang der Planung, Optimierungen können durch Iterationsschleifen im Austausch zwischen Energieberater und Objektplaner erfolgen. Gleichzeitig ist nicht nur die Erfassung von Flächen notwendig, sondern auch die Berücksichtigung ggf. zusätzlicher Bauteilschichten, die für die energetische Betrachtung keine, für die Betrachtung der Umweltwirkungen aber eine nicht vernachlässigbare Relevanz haben können (zum Beispiel Kleber, Folien, Lacke, Farben).

18 Eingabe der Geschossigkeit, Bezugsfläche und Nutzungstypologie

19 Anzahl Räume

20 Eingabe der Geschossigkeit und Bezugsfläche

21 Eingabe der Geschossigkeit und Bezugsfläche

3.2.2 Ökobilanzierung im Rahmen der Objektplanung

In der Objektplanung müssen die Kosten für das Objekt nach DIN 276 in Kostengruppen ermittelt werden:

„Im Kostenrahmen müssen die Gesamtkosten nach Kostengruppen in der ersten Ebene der Kostengliederung ermittelt werden. [...] In der Kostenschätzung müssen die Gesamtkosten nach Kostengruppen in der zweiten Ebene der Kostengliederung ermittelt werden. [...] In der Kostenberechnung müssen die Gesamtkosten nach Kostengruppen in der dritten Ebene der Kostengliederung ermittelt werden. [...] Im Kostenvoranschlag müssen die Gesamtkosten nach Kostengruppen in der dritten Ebene der Kostengliederung ermittelt und darüber hinaus nach technischen Merkmalen oder herstellungsmäßigen Gesichtspunkten weiter untergliedert werden. Unabhängig von der Art der Ermittlung bzw. dem jeweils gewählten Kostenermittlungsverfahren müssen die ermittelten Kosten auch nach den für das Bauprojekt vorgesehenen Vergabeeinheiten geordnet werden, damit die Angebote, Aufträge und Abrechnungen (einschließlich der Nachträge) aktuell zusammengestellt, kontrolliert und verglichen werden können.“
 DIN 276:2018-12: 4.3 Stufen der Kostenermittlung

Die Kostenberechnung in der dritten Ebene der Kostengliederung erfolgt nach HOAI als Grundleistung in Leistungsphase 3. An dieser Gliederung orientieren sich auch vorhandene Tools zur Erstellung der Lebenszyklusanalyse von Gebäuden, beispielsweise eLCA (Abb. 13). Die notwendigen Daten für die Erstellung der Ökobilanzierung der Baukonstruktion liegen also bereits frühzeitig vor. Ergänzt werden müssen ggf. zusätzliche Schichten und Festlegungen zu Materialien zum Beispiel die Art des verwendeten Dämmstoffes.

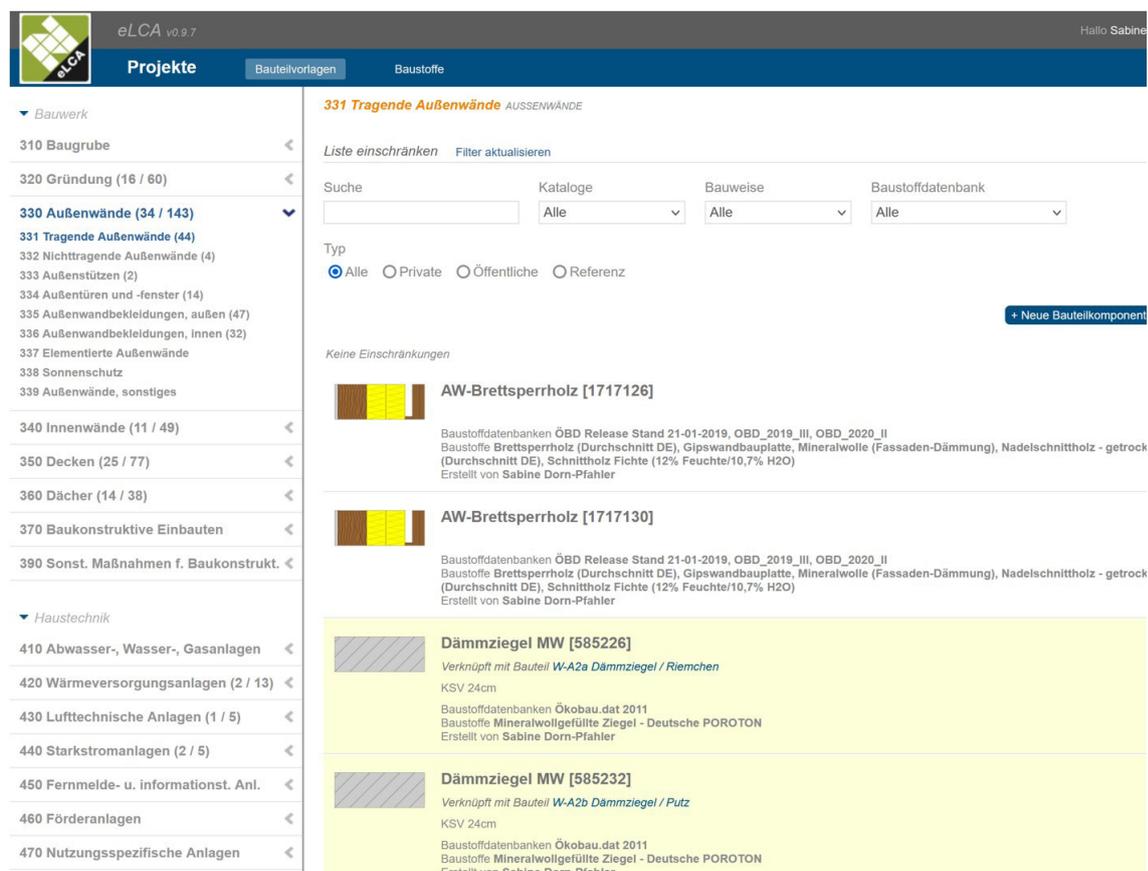


Abbildung 13 Erfassung der Bauteile nach Kostengruppen, Es ist also insbesondere die Schnittstelle der Kostenplanung und der Ökobilanzierung durch die Verknüpfung mit geeigneten Datensätzen für einzelne Bauprodukte zu beachten – siehe auch Ausführungen weiter vorn (Quelle: BBSR, Referat WB6 ohne Jahr).

3.2.3 Auswirkungen auf Planungs- und Baukosten

Die Kosten für eine Ökobilanz dürfen nicht mit den Kosten einer kompletten Nachhaltigkeitsbewertung gleichgesetzt werden. Bei Nutzung von Synergieeffekten bei der Modellierung von Gebäude und Lebenszyklus sowie dem Einsatz geeigneter Planungs- und Bewertungshilfsmittel sollte eine Steigerung der Planungskosten in einem engen Rahmen bleiben. Es wird empfohlen, sich mit den Kammern hinsichtlich aktueller Honorarvorstellungen abzustimmen. Bei größeren Projekten sind derartige Kostenanteile unkritisch. Für Kleinhausbau ist eine Abstimmung mit BNK (Bewertungssystem Nachhaltiger Kleinhausbau) möglich.

Die Auswirkungen auf die Baukosten resultieren weniger aus einem ggf. höheren Planungsaufwand. Es muss unterschieden werden zwischen Bilanzierungssystematik (hier diskutiert) und Anforderungsniveau für eine Ökobilanzberechnung. Wird die Einführung einer ökobilanziellen Bewertung mit einem Anforderungsniveau für den Lebenszyklus verbunden, sind Auswirkungen auf die Baukosten durch den Einsatz von low-carbon Produkten zu erwarten (Abb. 14: Angegeben werden Werte bei Anforderungen an den Einsatz von „grünem“ Stahl in der öffentlichen Beschaffung.) Höhere Baukosten durch Einsatz von low-carbon Produkten sind nicht dem Ansatz der ökobilanziellen Bewertung anzulasten, sondern resultieren aus dem (politischen und gesellschaftlichen) Ziel der Klimaneutralität.

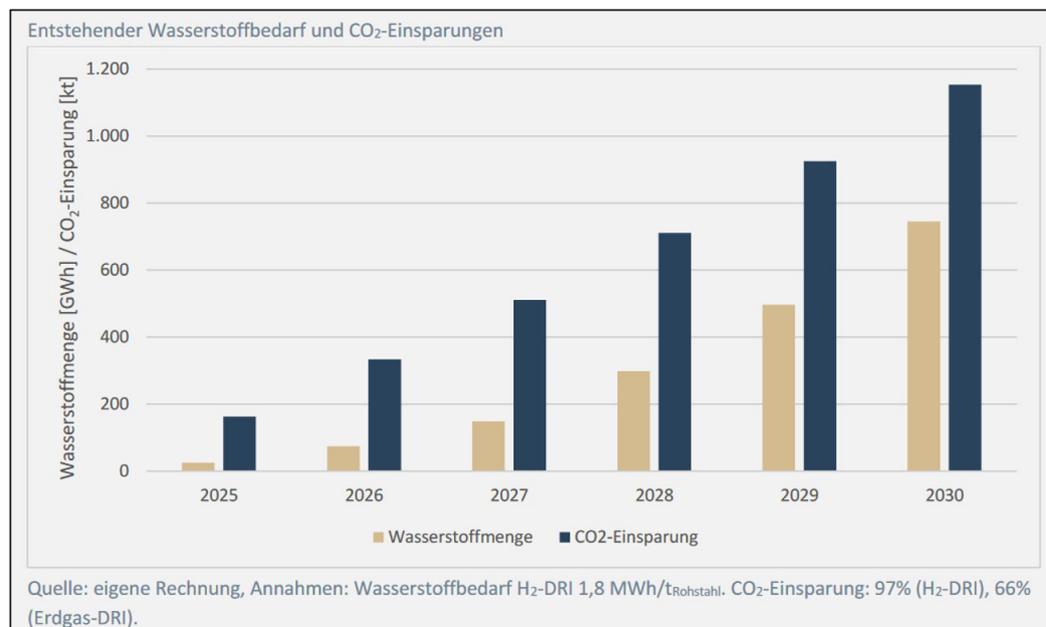


Abbildung 14 Klimaschutzeffekte und Kosten bei grünem Stahl (low-carbon) (Quelle: Fischer/Küper 2021).

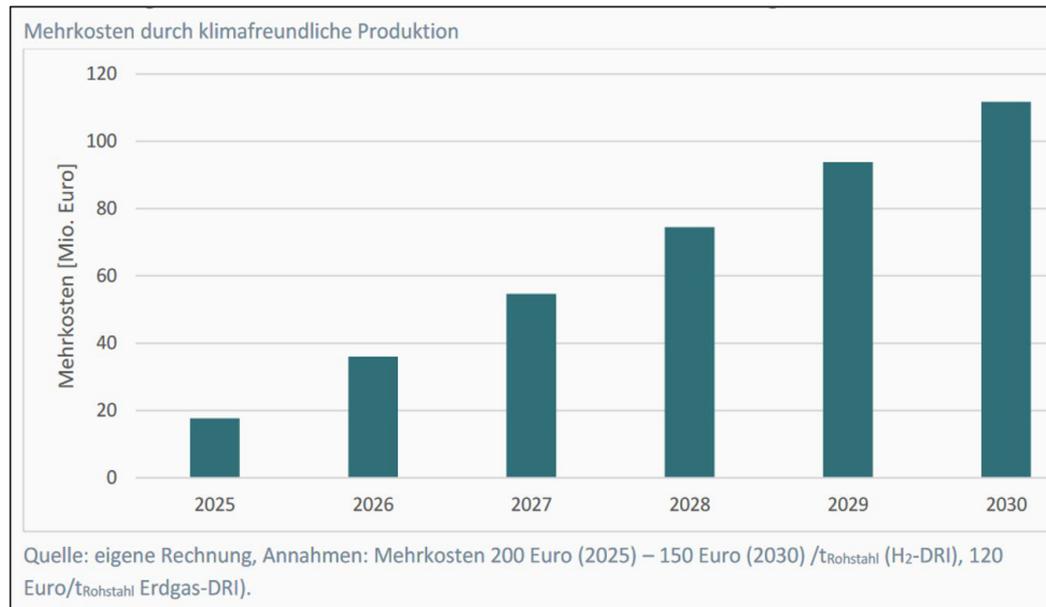


Abbildung 15 Klimaschutzeffekte und Kosten bei grünem Stahl (low-carbon) (Quelle: Fischer/Küper 2021).

3.3 Möglichkeiten einer Integration in das Ordnungsrecht

Die Bearbeiter dieser Studie schätzen ein, dass die Voraussetzungen zur Einführung einer ökobilanziellen Bewertung des vollständigen Lebenszyklus kompletter Gebäude im Rahmen vorgegebener Systemgrenzen in das Ordnungsrecht bei entsprechender politischer Willensbildung und Einräumen einer hohen Priorität ab ca. 2025 gegeben sein können. Dies betrifft im Grundsatz sowohl Wohn- als auch Nichtwohngebäude und jeweils Neubau- und Modernisierungsvorhaben. Im Bereich Nichtwohngebäude besteht die Herausforderung, für sämtliche Gebäude- und Nutzungsarten sowie Mischnutzungen Anforderungswerte zur Verfügung zu stellen.

Voraussetzung ist, dass ab sofort mit ausreichenden personellen und finanziellen Ressourcen an der Bereitstellung und Weiterentwicklung benötigter Grundlagen und der Schaffung weiterer Voraussetzungen gearbeitet wird. Dies betrifft

- 1) die Formulierung von Rechen- und Nachweisregeln,
- 2) die Bereitstellung von Rechenwerten,
- 3) die Aus- und Weiterbildung der Bearbeiterinnen und Bearbeiter,
- 4) die Bereitstellung von leistungsfähiger Software und
- 5) die Festlegung von Anforderungswerten für sämtliche Gebäude- und Nutzungsarten

Entsprechende Aktivitäten sind bereits angelaufen. Derzeitige Förderprogramme liefern die Basis und unterstützen das Sammeln und Aufbereiten entsprechender Erfahrungswerte. Dies betrifft auch Erfahrungen aus der Anwendung der Ökobilanzierung im Kontext aktueller Förderprogramme.

Die Bearbeiter dieser Studie schlagen empfehlen eine rasche Einführung und verweisen zur Begründung auf die typischen Erneuerungszyklen in der Immobilienwirtschaft von 20–30 Jahren. Gebäude, die ab 2025 neu gebaut oder modernisiert werden bilden 2045 (dem Zieljahr der Treibhausgasneutralität in Deutschland) wesentliche Teile des Gebäudebestandes. Emissionen im Zusammenhang mit der Herstellung von Bauprodukten und der Realisierung von Neubau- und Modernisierungsvorhaben gehen sofort und unumkehrbar zu Lasten des noch zur Verfügung stehenden Budgets. Für den Klimaschutz ist nicht das Zieljahr für Treibhausgasneutralität von Bedeutung, sondern die Antwort auf die Frage, wann das Budget, das sich aus dem Ziel der Einhaltung planetarer Grenzen ableitet, aufgebraucht ist.

Würden die notwendigen Voraussetzungen nicht bis zum Jahr 2025 zu schaffen sein, muss der Zeitplan angepasst werden. Seitens der Bearbeiter dieser Studie werden daher zwei Szenarien angeboten.

Szenario A

Bei einer Grundsatzentscheidung noch im Jahr 2022 könnten die Jahre 2023 und 2024 für die Aus- und Weiterbildung, die Bereitstellung von Datengrundlagen sowie Planungs-, Berechnungs- und Bewertungsgrundlagen genutzt werden. Es wird daher unter Würdigung eines dringlichen Handlungsbedarfs empfohlen, eine Einführung einer ökobilanziellen Bewertung von Gebäuden in das Ordnungsrecht als Ausdruck des Übergangs zu einer Betrachtung des Lebenszyklus inkl. quantitativer Anforderungsniveaus für Ende 2025 anzustreben. Es ergibt sich ein Szenario A „Bedarfsgeleitetes Handeln“. Es stellt Handlungserfordernisse in den Vordergrund und räumt der Überwindung von Hindernissen höchste Priorität ein.

Szenario B

Würde der aktuelle Stand der Vorbereitungen und der Schaffung von Voraussetzungen als Ausgangspunkt gewählt, ergibt sich u. U. ein angepasster Zeitplan. Wie in den vorhergehenden Abschnitten aufgezeigt, bestehen für die Einführung der ökobilanziellen Bewertung des Lebenszyklus von Gebäuden ins Ordnungsrecht überwindbare Hürden. Diese werden unter anderem in der Verfügbarkeit von qualifizierten Bearbeitern gesehen. Es sollte daher ein angemessener zeitlicher Vorlauf eingeplant werden, um

- Bearbeiter ausreichend qualifizieren zu können
- Erfahrungswerte noch vor einer ordnungsrechtlichen Einführung zu sammeln, unter anderem über Nutzung des Ansatzes in der Förderung
- die Akzeptanz bei Auftraggebern und Planern zu erhöhen

Es ergibt sich ein Szenario B „Voraussetzungsorientiertes Vorgehen“. Es orientiert sich am Stand der Vorbereitungen und räumt der Überwindung von Hemmnissen eine mittlere Priorität ein.

Für die Varianten A und B ergibt sich jeweils folgender Zeitplan:

Ablauf	A – Bedarfsgeleitetes Handeln	B – Voraussetzungsorientiertes Vorgehen
2022	Grundsatzentscheidung zur künftigen Einführung der Ökobilanzbewertung in das Ordnungsrecht	Konzentration auf Umstellung des GEG auf THG, ohne Lebenszyklusbetrachtung
2023	Weiterentwicklung von Voraussetzungen bei <ul style="list-style-type: none"> • Rechenregeln • Rechenwerten • Bearbeiten • Hilfsmitteln • Benchmarks • Honorierung 	Auswertung von Erfahrungen bei Förderprogrammen Weiterentwicklung von Voraussetzungen bei <ul style="list-style-type: none"> • Rechenregeln • Rechenwerten • Bearbeiten • Hilfsmitteln • Benchmarks • Honorierung
2024	Auswertung von Erfahrungen bei Förderprogrammen	
2025	Einführungen von Anforderungen an lebenszyklusbezogenen TGH-Emissionen im Ordnungsrecht	
2026		
2027		
2028		
2029		
2030	Verschärfung der Anforderungen gemäß Stufenplan in 2–3 Stufen	Einführungen von Anforderungen an lebenszyklusbezogenen TGH-Emissionen im Ordnungsrecht
2031		
2032		
2033		
2034		
2035	Einführungen von Anforderungen an lebenszyklusbezogenen TGH-Emissionen im Ordnungsrecht	Verschärfung der Anforderungen gemäß Stufenplan in 2–3
2036		
2037		
2038	Ausweitung auf Modernisierung und Umbau	
2039		
2040		Einführung der Anforderung der ausgeglichenen Bilanz im Lebenszyklus bei Neubauten
2041		
2042	Treibhausgasneutraler Gebäudebestand inkl. Neubau und Modernisierungsaktivitäten (Handlungsfeld Bau)	Ausweitung auf Modernisierung und Umbau
2043		
2044		
2045		Treibhausgasneutraler Gebäudebestand inkl. Neubau und Modernisierungsaktivitäten

Tabelle 7 Zeitlicher Ablauf der Szenarien A und B

Diese Darstellung ist unabhängig davon, ob Anforderungen innerhalb oder außerhalb des GEG formuliert werden.

In keinem Fall wird seitens der Bearbeiter der Studie eine Orientierung an aktuellen Überlegungen der EC – ausgedrückt im Anhang zum Entwurf der EPBD – empfohlen. Ein Beginn der Verpflichtung zur Ökobilanzierung für alle Gebäude ohne Anforderungen ab 2030 kommt zu spät.

Unabhängig vom zeitlichen Verlauf wird – wie oben dargestellt – empfohlen, für die Anforderungen einen Stufenplan zu entwickeln und zu veröffentlichen, mit dem ca. 2035/2040 das Anforderungsniveau einer ausgeglichenen Bilanz der Treibhausgasemissionen (net zero GHG-emission) erreicht werden kann.

Für die Einführung der ökobilanziellen Bewertung von Gebäuden in das Ordnungsrecht erben sich aus Sicht der Bearbeiter dieser Studie zwei Möglichkeiten. Diese unterscheiden sich insbesondere in der Anschlussfähigkeit hinsichtlich weiterer, nachhaltigkeitsbezogener Ansätze (vgl. Tab. 65 Vergleich von Ansatz 1 und 2 im Hinblick auf ausgewählte Themen des Koalitionsvertrags):

- 1) Integration der ökobilanziellen Bewertung des Lebenszyklus von Gebäuden in das GEG durch Erweiterung der Systemgrenzen und Übergang zur Lebenszyklusanalyse: Grundsätzlich ist es möglich, das GEG weiterzuentwickeln und die Betrachtung der Betriebsphase hin zur Betrachtung des Lebenszyklus zu erweitern. Im Kontext des GEG sollte sich eine Ökobilanzierung auf die Indikatoren Primärenergieaufwand (erneuerbar bzw. gesamt) und Treibhausgasemissionen (Treibhauspotenzial) konzentrieren.
- 2) Integration der ökobilanziellen Bewertung des Lebenszyklus von Gebäuden in ein neues übergreifendes Gesetz zu Klimaschutz und Ressourcenschonung: Es ist denkbar, eine Gesetzgebung zum Klima- und Ressourcenschutz zu initiieren, die den Rahmen für die Lebenszyklusanalyse bietet, das GEG integriert und gleichzeitig eine Flexibilität für die zukünftige Integration des Materialinventars/Ressourcenpasses im Sinne der Kreislaufwirtschaft bietet. In diesem Kontext könnte das Spektrum berücksichtigter Indikatoren gegenüber 1) erweitert werden und unter anderem den kumulierten Rohstoffaufwand (KRA) und/oder den Gehalt an biogenem Kohlenstoff einbeziehen. Eine Anschlussfähigkeit an die Lebenszyklusrechnung und die Erstellung eines Gebäudepasses wären wünschenswert.

3.3.1 Variante 1 – Integration der ökobilanziellen Bewertung in das GEG

Eine Integration der ökobilanziellen Bewertung von Gebäuden in das Ordnungsrecht durch eine Weiterentwicklung des GEG bis 2025 ist – bei Schaffung der Voraussetzungen – theoretisch möglich. Im weiteren Sinne ist hierfür die Erweiterung der Systemgrenzen auf den vollständigen Lebenszyklus und die komplette Erfassung des Gebäudes innerhalb definierter Systemgrenzen erforderlich. Hier unterscheiden sich das GEG und eine Ökobilanz erheblich. Es stellt sich die Frage, ob für eine derartige Erweiterung der Systemgrenzen die Ermächtigungsgrundlage für das GEG ausreicht.

Notwendig sind bei einer Integration in das GEG

- 1) ein geeignetes Gebäude- und Lebenszyklusmodell,
- 2) die Formulierung der benötigten Rechenregeln zur Erfassung und Bewertung gebäudebezogener Umweltwirkungen,
- 3) die Bereitstellung der Ökobilanzdaten für Bauprodukte aller Art als Rechenwerte,
- 4) eine Überarbeitung der DIN 18599 insbesondere in den Bereichen des Umgangs mit Nutzerstrom, mit gebäudeintegrierter und/oder gebäudenaher Gewinnung/Erzeugung erneuerbarer Energie, Umstellung auf aktuelle/künftige Klimadaten und Aktualisierung der Primärenergie- und Emissionsfaktoren sowie
- 5) eine erweiterte Anforderungssystematik (Treibhausgasemissionen zusätzlich zum Primärenergieaufwand, nicht erneuerbar) und zukunftsfähige Anforderungsniveaus in Richtung von Gebäuden mit einer ausgeglichenen Emissionsbilanz, zunächst im Betrieb, dann im Lebenszyklus.

Das Ziel der Fertigstellung einer Überarbeitung der DIN V 18599 bis 2025 wird seitens der Bearbeiter dieser Studie als ambitioniert, aber möglich bewertet.

Im Entwurf zur Europäischen Gebäudeenergieeffizienzrichtlinie (EPBD) ist die unbewertete Angabe der THG-Emissionen im Lebenszyklus im künftigen Energieausweis vorgesehen. Hieraus ergibt sich ein Bezug zum GEG.

Zu beachten ist der rechtliche Rahmen eines Gebäudeenergiegesetzes. Es kann davon ausgegangen werden, dass eine stärkere Berücksichtigung von Aspekten des Klimaschutzes von den Aufgaben und Zielen des GEG noch gedeckt ist. Aus Sicht der Bearbeiter dieser Studie trifft dies nicht für Fragen der Inanspruchnahme nicht-energetischer Ressourcen, die Erstellung eines Ressourcenpasses auf Basis eines Materialinventars oder eine Lebenszykluskostenrechnung zu.

3.3.2 Variante 2 – GEG-Integration in übergreifende Klimaschutz & Ressourcenanforderungen

Es ist aus Sicht der Bearbeiter dieser Studie möglich und sinnvoll, ein im Sofortprogramm der involvierten Ministerien angedachtes Förderprogramm „Klimafreundliches Bauen“ (BMWK/BMWSB 2022: 15) zu einer Gesetzgebungsinitiative auszubauen und zu gesetzlichen Anforderungen für Klimaschutz und Ressourcenschonung im Bau- und Gebäudebereich weiterzuentwickeln.

In dieser Variante würde das GEG zwar auf Anforderungen für eine Begrenzung von Treibhausgasemissionen umgestellt, würde sich aber auch weiterhin bei den Systemgrenzen auf den Betrieb des Gebäudes konzentrieren. Seine Ergebnisse liefern in diesem Fall die betriebsbedingten Teilgrößen zur lebenszyklusbezogenen Ökobilanz des Gebäudes (partial carbon footprint). Diese können zusätzlich den Charakter von Nebenanforderungen haben. Ein entsprechendes Vorgehen kann u. U. als eine ökobilanzielle Bewertung eines Abschnitts/einer Phase im Lebenszyklus/Lebensweg im Sinne der Optionen in DIN EN ISO 14040 interpretiert werden. Das GEG müsste in diesem Fall „anschlussfähig“ an die Ökobilanzierung des vollständigen Lebenszyklus innerhalb definierter Systemgrenzen ausgestaltet werden.

In diesem Fall können sich Arbeiten zunächst auf die Weiterentwicklung des GEG an sich und die erforderliche Anschlussfähigkeit an eine Ökobilanzierung konzentrieren. Empfehlungen zu den Varianten aus Sicht der Bearbeiter sind unter anderem:

- Aktualisierung der Klimadaten, Umstellung auf künftig zu erwartende Werte
- Überprüfung und ggf. Weiterentwicklung des Referenzgebäudeverfahrens
- Diskussion zum Übergang von standortneutralen zu standortspezifischen Betrachtungen
- Weiterentwicklung der Regeln zur Berücksichtigung von BIPV in Richtung realitätsnaher Werte
- Einbeziehung des Nutzerstroms
- Einbeziehung bisher nicht berücksichtigter Größen, zum Beispiel Aufzüge
- Klärung des Umgangs mit potenziell bei Dritten vermiedenen Emissionen durch exportierte Energie
- Festlegungen zum Verdrängungsstrommix
- Festlegung von Emissionsfaktoren, die den Dekarbonisierungsprozess berücksichtigen

Sollte dieser Weg beschritten werden, das GEG in seinen jetzigen Systemgrenzen zu aktualisieren, wird durch die Bearbeiter vorgeschlagen, das Wirtschaftlichkeitsgebot durch ein Gebot der ökologischen Sinnhaftigkeit zu ergänzen. Im Minimum ist hier der Nutzen (Minderung der Treibhausgasemissionen) dem Aufwand (zusätzliche graue Emissionen) gegenüberzustellen.

Fragen der vollständigen Ökobilanz als Teil einer Lebenszyklusanalyse würden hier – so der Vorschlag der Bearbeiter zur Variante B – einem neuen Gesetz für Klimaschutz und Ressourcenschonung im Bau- und Gebäudebereich zugeordnet. Die für die Ökobilanz ohnehin erforderliche Erfassung und Beschreibung der stofflichen

Zusammensetzung des Gebäudes lässt sich dann zum Ressourcenpass ausbauen. Anforderungen an die Ressourceninanspruchnahme können sich u. U. am Leitbild der ressourcenleichten Gesellschaft orientieren, Erfahrungen damit liegen jedoch bisher nicht vor. Denkbar und möglich ist es hier, den Aufwand an Primärenergie (nicht erneuerbar) als einen Ausgangspunkt für den Indikator zur Berücksichtigung der Inanspruchnahme von Ressourcen zu berücksichtigen (hier: energetische und stoffliche Nutzung fossiler Energieträger). Hier lassen sich die energetische und nicht-energetische Nutzung von fossilen Energieträgern sowohl getrennt betrachten als auch zusammenfassen.

Fragen der Wirtschaftlichkeit lassen sich mit dem im Koalitionsvertrag benannten Ziel der stärkeren Berücksichtigung der Lebenszykluskosten verbinden. Die Lebenszykluskostenrechnung (in Unterlagen der Europäischen Kommission auch als Methode der global cost bezeichnet (European Commission 2012)) kann den Methoden der Lebenszyklusanalyse zugeordnet werden. Es wird daher vorgeschlagen, die Lebenszykluskostenrechnung in eine entsprechende Gesetzgebungsinitiative einzubeziehen. Dies ermöglicht die Berücksichtigung des CO₂-Preises und der im Entwurf zur EPBD vorgeschlagenen externen Kosten. Einen Anknüpfungspunkt für die Lebenszykluskostenrechnung bieten sowohl das Wirtschaftlichkeitsgebot als auch die Hinweise zur Wirtschaftlichkeit von Modernisierungsmaßnahmen im Energieausweis.

Nachstehend erfolgt eine Einschätzung der Vor- und Nachteile von Ansatz 1 und Ansatz 2, einerseits in Bezug auf die Themen aus dem Koalitionsvertrag (Tab. 8), andererseits generell (Tab. 9).

Frage/Thema	Ansatz 1 Ökobilanzielle Bewertung des Lebenszyklus von Gebäuden im GEG	Ansatz 2 Ökobilanzielle Bewertung des Lebenszyklus von Gebäuden in einem zusätzlichen Gesetz
Umgang mit grauer Energie	Die Einbeziehung der grauen Energie bzw. der grauen Emissionen in das GEG wäre bei einer Erweiterung der Systemgrenzen in Richtung Lebenszyklus folgerichtig und erleichtert die „Gesamtoptimierung“. Im Minimum sollten graue Anteile in einem Gebot der „ökologischen Sinnhaftigkeit“ berücksichtigt werden, um einen Anstieg des Gesamtaufwands/der Gesamtemissionen durch Effizienzmaßnahmen auszuschließen.	Bei einem Gesetz für Klimaschutz und Ressourcenschonung im Lebenszyklus von Gebäuden ist die Einbeziehung von grauer Energie und grauen Emissionen eine Selbstverständlichkeit.
Umgang mit Ressourcenpass	Bei Einführung ökobilanzieller Bewertungen im GEG entsteht als Zusatzergebnis ein Materialauszug, ggf. mit Stückliste. Dies kann Basis sein für die Beschreibung und Bewertung der Inanspruchnahme von Ressourcen in einem Ressourcenpass. Eine Bewertung der Inanspruchnahme von mineralischen Rohstoffen, Erzen und Biomasse überfordert das GEG und überschreitet die Ermächtigungsgrundlagen.	In einem Gesetz, das Ressourcenschonung über die Nutzung von Energieträgern hinaus einschließt, kann konsequent der Materialauszug im Ergebnis einer Ökobilanz zu einer Beschreibung und Bewertung der Ressourceninanspruchnahme ausgebaut werden. Anforderungen lassen sich u. U. aus dem Ziel einer ressourcenleichten Gesellschaft ableiten.
Umgang mit Lebenszykluskosten	Das GEG weist über das Wirtschaftlichkeitsgebot Bezüge zur Lebenszykluskostenrechnung auf, jedoch begrenzt auf Heiz-/Energiekosten. Bei Modernisierungsempfehlungen im Energieausweis existieren Bezüge zur Wirtschaftlichkeitsrechnung.	Ein Gesetz für Klimaschutz und Ressourcenschonung lässt sich in Richtung Nachhaltigkeit ausbauen. Im Minimum kann dann gefordert werden, das und wie Lebenszykluskosten ermittelt und ausgewiesen werden.

Tabelle 8 Vergleich von Ansatz 1 und 2 im Hinblick auf ausgewählte Themen des Koalitionsvertrags

Frage/Thema	Ansatz 1 Ökobilanzielle Bewertung des Lebenszyklus von Gebäuden im GEG	Ansatz 2 Ökobilanzielle Bewertung des Lebenszyklus von Gebäuden in einem zusätzlichen Gesetz
Umsetzungsgeschwindigkeit	Vor dem Hintergrund eines bereits bestehenden Prüfauftrags sind weitere Schritte zeitnah möglich.	Eine komplett neue Gesetzgebungsinitiative wird erforderlich mit entsprechenden Konsequenzen für den zeitlichen Verlauf.
Komplexität der Thematik	Erhöht deutlich die Komplexität der Aufgabe einer Weiterentwicklung des GEG	Entlastet das GEG und gibt Raum für Zusatzthemen in Richtung Klimaschutz und Ressourcenschonung im Lebenszyklus (Teilaspekte der Nachhaltigkeit).
Beitrag zur nationalen Nachhaltigkeitsstrategie im Bau- und Gebäudebereich	Leistet wichtigen Teilbeitrag	Leistet umfassenderen Beitrag durch Erweiterungsfähigkeit in Richtung Ressourcenpass und digitaler Hausakte (siehe Initiativen der EC zum digital logbook).
Perspektive der Anwender	Bereits die Umstellung des GEG auf die (zusätzliche) Betrachtung der Treibhausgasemissionen stellt eine Herausforderung dar. Die Erweiterung der Systemgrenzen in Richtung Lebenszyklus ist eine neue Thematik.	Die Systemgrenzen des GEG können erhalten bleiben. Anwender des GEG agieren weiter in gewohnter Arbeitsumgebung. Elemente der Lebenszyklusanalyse werden in einem Ansatz zusammengefasst.
Vollzug	Erfordert komplette Weiterbildung der bisher mit Prüfung und Vollzug betrauten Institutionen. Strukturen müssen neu entwickelt, Personal ggf. aufgestockt werden.	Erfordert Aufbau neuer unabhängiger Strukturen für Prüfung und Vollzug lebenszyklusbezogener Anforderungen.
Optionen für Weiterentwicklung	Die Weiterentwicklung des GEG muss Inhalte der DIN V 18599 und der Ökobilanzierung parallel abdecken	Eine Behandlung von Aspekten der Lebenszyklusanalyse in einem neuen Gesetz entlastet die Weiterentwicklung des GEG und lässt eine Konzentration auf Fragen der DIN V 18599 zu.

Tabelle 9 Allgemeiner Vergleich von Ansatz 1 und 2

3.3.3 EXKURS: Betrieb versus Lebenszyklus

Es ist der Wunsch der Politik und von Teilen der Fachöffentlichkeit, durch die Betrachtung kompletter Gebäude in ihrem vollständigen Lebenszyklus unter Beachtung der Systemgrenzen eines Gebäude- und Lebenszyklusmodells sämtliche Möglichkeiten zur Reduzierung der Ressourceninanspruchnahme, der unerwünschten Wirkungen auf die globale und lokale Umwelt sowie insbesondere der Treibhausgasemissionen zu erschließen. Ziel ist daher die Prüfung von Möglichkeiten einer Integration einer ökobilanziellen Bewertung als ein Mittel der Lebenszyklusanalyse in das Ordnungsrecht. Hinsichtlich der Art und Weise der Integration in das Ordnungsrecht existieren jedoch bisher keine Vorgaben. Es wird daher empfohlen, sich nicht von Anfang an auf das GEG zu konzentrieren, auch wenn dies in der aktuellen Diskussion der vorgegebene Weg zu sein scheint. Nachstehend wird diskutiert, ob und inwieweit sich Ziele, Inhalte und Vorgehensweise einer Lebenszyklusanalyse unter Nutzung der angewandten Ökobilanzierung in ein weiterentwickeltes GEG integrieren ließen oder ob es dafür alternative Möglichkeiten gibt, die eine umfassendere Zielerreichung sicherstellen.

Mit dem GEG in seiner aktuellen Form werden folgende Ziele verfolgt:

Zweck dieses Gesetzes ist ein möglichst sparsamer Einsatz von Energie in Gebäuden einschließlich einer zunehmenden Nutzung erneuerbarer Energien zur Erzeugung von Wärme, Kälte und Strom für den Gebäudebetrieb. Unter Beachtung des Grundsatzes der Wirtschaftlichkeit soll das Gesetz im Interesse des Klimaschutzes, der Schonung fossiler Ressourcen und der Minderung der Abhängigkeit von Energieimporten dazu beitragen, die energie- und klimapolitischen Ziele der Bundesregierung sowie eine weitere Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte zu erreichen und eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung zu ermöglichen.

Deutlich wird die Konzentration auf die Themen Energieeinsatz, Nutzung erneuerbarer Energien, Schonung fossiler Ressourcen, Minderung der Importabhängigkeit bei Energie sowie nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung innerhalb der Systemgrenzen des Betriebs von Gebäuden im engeren Sinne. Damit weist das GEG derzeit weder Ansatzpunkte für die Betrachtung des Lebenszyklus noch für den Einbezug weiterer natürlicher Ressourcen im Sinne primärer Rohstoffe (unter anderem mineralische Rohstoffe, Erze) auf.

Nachstehend erfolgt der Vergleich zwischen den Zielen, Inhalte und Systemgrenzen des GEG und einer angewandten Ökobilanzierung als ein Mittel für die Lebenszyklusanalyse (Tab. 10). Auf dieser Basis soll unter anderem diskutiert werden, ob eine Integration einer lebenszyklusbezogenen ökobilanziellen Bewertung in das GEG erfolgversprechend sein kann oder ob eine Gesetzgebungsinitiative in Richtung von Anforderungen an klimafreundliche und ressourcenschonende die bessere Alternative wäre.

Thema/ Teilaspekt	GEG (in seiner aktuellen Form)	Mögliche Gesetzgebungsinitiative zu Anforderungen an klimafreundliche und ressourcenschonende Gebäude unter Anwendung der angewandten Ökobilanzierung
Systemgrenzen/ einzubeziehende Lebenszyklusphasen	Betrieb des Gebäudes (das GEG kennt keinen Betrachtungszeitraum)	Lebenszyklus des Gebäudes auf Basis eines Lebenszyklusmodells mit definiertem Betrachtungszeitraum
Systemgrenzen in Bezug auf das Gebäude	Wärmetauschende Hüllfläche; Anlagen zur Heizung, Kühlung, Warmwasserbereitung, Raumkonditionierung	Komplettes Gebäude innerhalb definierter Systemgrenzen (unter anderem Abschneidekriterien), inklusive kompletter TGA
Hauptziele	Schonung fossiler Ressourcen Klimaschutz im Betrieb Nachhaltige Energieversorgung Reduzierung Importabhängigkeit bei Energie	Ressourcenschonung generell Klimaschutz im Lebenszyklus Nachhaltiger Gebäudebestand Reduzierung der Importabhängigkeit bei Energie und Rohstoffen
Hauptanforderung / Kriterien	Begrenzung Primärenergieaufwand, nicht erneuerbar im Betrieb; Ggf. künftig Begrenzung der Treibhausgasemissionen im Betrieb	Ressourceninanspruchnahme Wirkungen auf globale und lokale Umwelt
Spezifische Nebenthemen I	Mindestwärmeschutz; Sommerlicher Wärmeschutz	(nicht relevant)
Spezifische Nebenthemen II	(nicht relevant)	Biogener Kohlenstoffgehalt; Recyclingpotenzial; Zusätzliche Wirkungskategorien
Erzeugte Dokumente	Nachweis der Einhaltung der GEG-Anforderungen Energieausweis (Nach Vorstellungen der EC soll mittelfristig der lebenszyklusbezogene carbon footprint als Information in den Energieausweis)	Ökobilanz; Ggf. Nachweis der Einhaltung von Anforderungen zur Begrenzung des Aufwands an Primärenergie, nicht erneuerbar und der Treibhausgasemissionen; Ggf. Materialinventar / Ressourcenpass
Normative Grundlagen	DIN V 18599 (mit Problemen im Bereich Umgang mit BIPV, Nutzerstrom, exportierte Energie)	DIN EN 15978-1 (in Erarbeitung)
Datengrundlagen	Primärenergie- und Emissionsfaktoren für Energie	Primärenergie- und Emissionsfaktoren für Energie; ÖKOBAUDAT
Fachliche Kompetenz	Planer mit entsprechender Qualifikation, Energieberater	Planer mit entsprechender Qualifikation Ökobilanzierer unter anderem auch Kostenplaner
Mess-/Prüfbarkeit	Der Energieverbrauch im Betrieb kann gemessen werden.	Ökobilanzergebnisse sind messtechnisch nicht überprüfbar.

Tabelle 10 Vergleich zwischen den Zielen, Inhalten und Systemgrenzen des GEG und einer angewandten Ökobilanzierung

In Auswertung des Vergleichs lässt sich feststellen, dass sich Inhalte, Ziele und Vorgehensweisen des GEG grundsätzlich von einer angewandten Ökobilanzierung unterscheiden. Zwar ist es möglich, das GEG in Richtung einer Einbeziehung weiterer Lebenszyklusphasen sowie zusätzlicher Kriterien/Indikatoren zu erweitern. Eine entsprechende Erweiterung der Systemgrenzen würde insbesondere Energieberater jedoch vor erhebliche Herausforderungen stellen. Ein zu erwartendes strenges Anforderungsniveau bei einer Lebenszyklusbetrachtung setzt einen planungsbegleitenden Ansatz voraus. Notwendig wird unter anderem eine Einflussnahme

auf den gebäudebezogenen Anteil – eine typische Aufgabe für Planerinnen und Planer. Lebenszyklusbetrachtungen werden zum Ausdruck einer „ganzheitlichen“ Herangehensweise – dies solle auch in Art und Ort der Formulierung entsprechender Anforderungen ihren Niederschlag finden. Dies spricht für einen neuen Ansatz in Richtung Lebenszyklusanalyse, der dieses Thema von Grunde auf verfolgen kann.

Zum Teil wird befürchtet, dass ein Lebenszyklusansatz das Thema der Energieeffizienz im Betrieb verwässert. Mit dem Fortbestand eines GEG in seinen bisherigen Systemgrenzen ist durch seine verbindlichen Anforderungen das Thema der Energieeffizienz im Betrieb stets abgedeckt und abgesichert. Die Sorge vor einem bilanziellen Ausgleich zwischen dem gebäudebezogenen und einem betriebsbedingten Anteil zu Lasten des Anforderungsniveaus im betriebsbedingten Teil wäre dann unbegründet. Dieses Ziel lässt sich auch über eine Nebenanforderung bei einem Lebenszyklusansatz verfolgen, mit einer eigenen gesetzlichen Anforderung würde dem Thema jedoch mehr Nachdruck verliehen.

Das GEG wird auch bei Beibehaltung seiner Systemgrenzen künftig eine wichtige Rolle spielen in den Bereichen unter anderem der (1) Begrenzung der Nachfrage nach Nutz- und Endenergie, (2) der Sicherung des Wärmeschutzes in der Heiz- und Kühlperiode, (3) der Prognose der Energieverbräuche und der Abschätzung von Energiekosten, (4) der Anforderungen an bestehende Gebäude, (5) Anforderungen an technische Eigenschaften, (6) Anforderungen an Inspektionen. Deutlich wird, dass derartige Aufgaben im Betrieb anfallen, dort aber von besonderer Bedeutung sind.

In keinem Fall ist das GEG in seiner bisherigen Ziel- und Aufgabenstellung sowie seinem bisherigen Zuschnitt geeignet, eine Ressourceninanspruchnahme im weiteren Sinne zu erfassen, zu dokumentieren und zu bewerten. Selbst bei Integration des Lebenszyklusansatzes bei Primärenergieaufwand und Treibhausgasemissionen würde der Weg in Richtung einer breiteren Lebenszyklusanalyse erschwert bzw. unmöglich. Die wünschenswerte Kopplung aus einer Betrachtung der Treibhausgasemissionen und der Inanspruchnahme der primären Ressourcen – in der Ökobilanzierung kein Problem – würde behindert. Im Idealfall liefert das GEG mit dem Aufwand an Primärenergie, nicht erneuerbar (bzw. dem fossilen Teil), ausgedrückt als KEV im Betrieb einen Beitrag zu KEA im Lebenszyklus. Dieser lässt sich mit Angaben zu mineralischen Rohstoffen, Erzen und Biomasse (ggf. ausgedrückt als KRA) zusammenfassen und bildet eine Ausgangsbasis für einen gewünschten Ressourcenpass.

Vorgeschlagen wird ein arbeitsteiliger Ansatz. Die Ergebnisse des GEG liefern dabei eine wesentliche Teilgröße für einen lebenszyklusbezogenen Ansatz, das GEG kann sich weiterhin seinen bisherigen Aufgaben widmen. Eine übergreifende Gesetzgebungsinitiative bietet Vorteile wie

- Verlagerung der Ökobilanzierung in eine neue Anforderungssystematik
- Anschlussfähigkeit an Themen wie Materialinventar/Ressourcenpass, Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit, Kohlenstoffgehalt mit dem mittelfristigen Ziel der Ausgestaltung eines Kapitels „Ökologie“ in einer umfassenden Hausakte

Ein Beispiel für eine Arbeitsteilung zwischen der Erfassung und Bewertung der energetischen Qualität im Betrieb und den Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus liefert das Berichtsformat der EC zur Nachhaltigkeit von Gebäuden LEVEL(s). Hier werden die zwei Indikatoren so kombiniert, dass sich der Aufwand an Primärenergie auf den Betrieb konzentriert (Indikator 1.1), die Treibhausgasemissionen jedoch den vollständigen Lebenszyklus berücksichtigen (Indikator 1.2) (vgl. Abb. 16).

	1 Green house gas emissions along a building's life cycle	1.1 Use stage energy performance kilowatt hours per square metre per year [kWh/m ² /yr]	1.2 Life cycle Global Warming Potential kgCO ₂ equivalents per square metre per year		
	2 Resource efficient + circular material	2.1 Bill of quantities Unit quantities mass + years	2.2 Construction + demolition waste + materials kg of waste + materials per m ²	2.3 Design for adaptability use Adaptability score	2.4 Design for deconstruction, reuse + recycling Deconstruction score
	3 Efficient use of water resources	3.1 Use stage water consumption m ³ /yr water per occupant			
	4 Healthy + comfortable spaces	4.1 Indoor air quality Parameters for ventilation, CO ₂ + humidity Target list of pollutants: TVOC, formaldehyde, CMR, VOC, LCI ratio, mold, benzene, particulates, radon	4.2 Time outside of thermal comfort range % of the time out of range during the heating and cooling seasons	4.3 Lighting + visual comfort use Level 1 check list	4.4 Acoustics + protection against noise Level 1 check list
	5 Adaptation + Resilience	5.1 Protection of occupier health + thermal comfort Projected % time out of range in the years 2030 and 2050 [see also 4.2]	5.2 Increased risk of extreme weather events Level 1 checklist [under development]	5.3 Increased risk of flood events Level 1 checklist [under development]	
	6 Optimised life cycle cost and value	6.1 Life cycle costs Euro per square metre [€/m ² /yr]	6.2 Value creation + risk exposure Indoor air quality Level 1 checklist		

Abbildung 16 Übersicht der Level(s) Key Indicators (Quelle: IGBC ohne Jahr)

Ein ähnlicher Ansatz wird, wenn auch weniger klar ausformuliert, mit dem aktuellen Entwurf zur Gebäudenergieeffizienzrichtlinie (EPBD) verfolgt. Dort wird zunächst das Ziel zero energy im Betrieb zu Gunsten net zero emission im Betrieb aufgegeben. Um einen Energiebedarf so zu reduzieren, dass er mit erneuerbarer Energie gedeckt werden kann, werden Anforderungen zur Begrenzung des Aufwands an Primärenergie, gesamt vorschlagen (inhaltliche Nähe zum UEA-Ansatz zero carbon ready sind erkennbar).

Ein Schritt in Richtung Lebenszyklusbetrachtung wird nur angedeutet, danach soll der lebenszyklusbezogene carbon footprint als Information im Energieausweis angegeben werden. Verwiesen wird auf den Indikator 1.2 von LEVEL(s). Dieser bezieht sich auf EN 15978:2011. Diese Fassung liefert keine Antwort auf Fragen zum Umgang mit BIPV, exportierter Energie usw. Die künftige EN 15978-1 mit Potenzial zur Aufnahme in das Regelwerk des DIN befindet sich noch in der Endabstimmung. In jedem Fall wird ein nationaler Berechnungsansatz benötigt – jedoch zunächst unabhängig von Anforderungen an den Betrieb. In der Tendenz wird eine Arbeitsteilung feststellbar zwischen Anforderungen an den Betrieb (in Bezug auf Energie) und den Lebenszyklus (in Bezug auf Klimaschutz).

3.4 Vorschläge zur Darstellung der Ergebnisse

Grundsätzlich sind unterschiedliche Darstellungsweisen der Ergebnisse denkbar. Dabei kann ein Gesamtwert der Lebenszyklusanalyse in den entsprechenden Kategorien ausgewiesen werden, denkbar ist aber auch die separate Darstellung der betriebsbedingten und gebäudebezogenen Anteile. Möglich ist ferner der Nachweis einer Mindestanforderung ohne Darstellung einer Übererfüllung, ein Stufenmodell ähnlich den Anforderungen an energieeffiziente Geräte oder eine Bewertungsskala.

Die Auswahl darzustellender Größen hat unter anderem einerseits Konsequenzen für einen künftigen Energieausweis, lässt sich aber andererseits auch aus dessen vorgegebenen Inhalten ableiten. Der Entwurf zur EPBD sieht unter anderem vor, mittelfristig Angaben zu den im Lebenszyklus verursachten Treibhausgasemissionen als Information in den Energieausweis aufzunehmen. Es wird empfohlen diese Entwicklung in Deutschland gegenüber dem Zeitplan im Entwurf der EPBD vorzuziehen, die dort formulierten Empfehlungen ansonsten möglichst umfassend aufzugreifen und zunächst im Rahmen von Förderprogrammen zu erproben.

Für Darstellung von Emissionsklassen zusätzlich zu Energieeffizienzklassen auf der Basis von Berechnungsergebnissen, tatsächlichen Daten und/oder künftig möglichen Daten (zum Beispiel nach einer energetischen Modernisierung gemäß Stufenplan/Fahrplan) liegen im Ausland Beispiele für die Betriebsphase vor (Abb. 17).

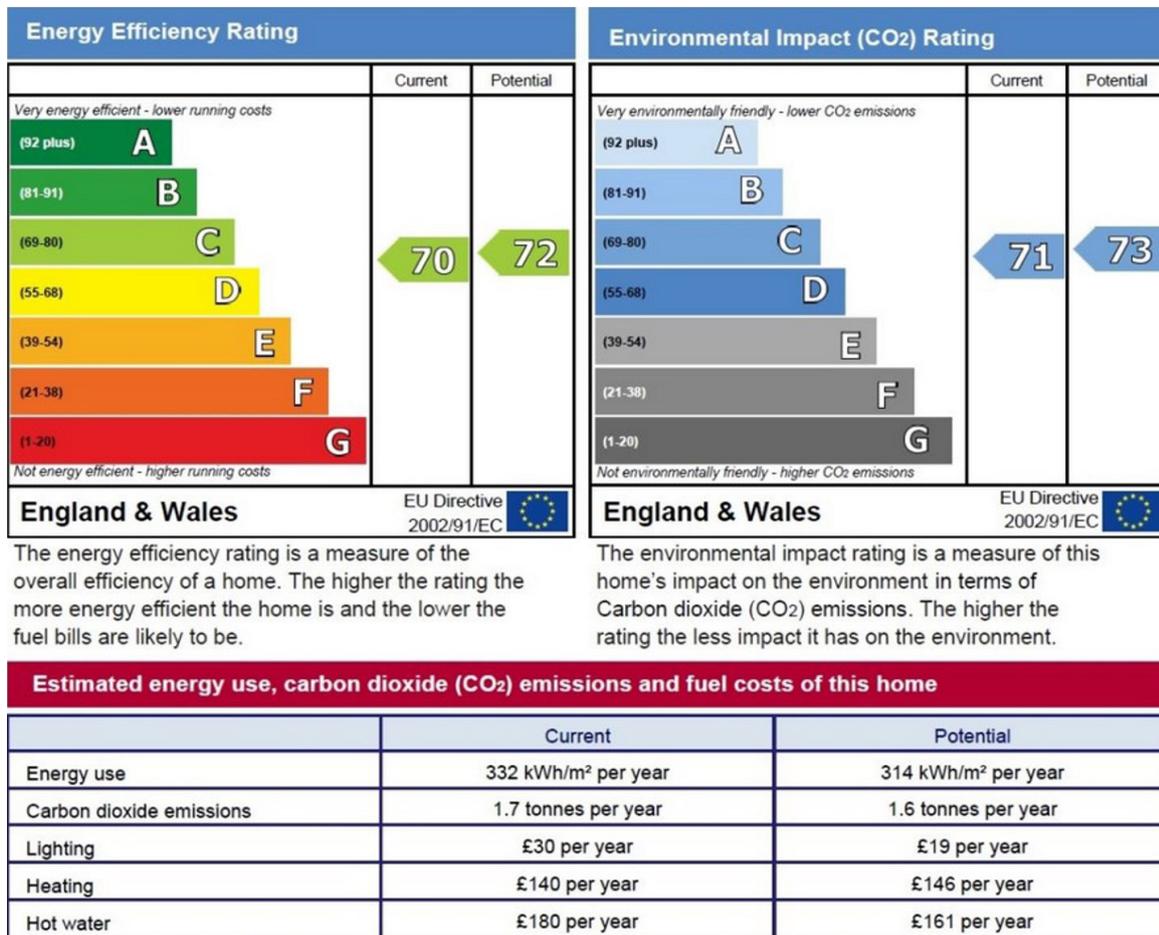


Abbildung 17 Beispiel für die parallele Darstellung von Primärenergieaufwand und Emissionen (Quelle: NC Real Estate, 2015)

In der Literatur existieren bereits Beispiele zu Darstellungsmöglichkeiten für graue Anteile – hier graue Emissionen. Dabei wird mit Abb. 18 eine Lösung angeboten, die einen Erstaufwand für graue Emissionen (upfront / initial) von den grauen gebäudebezogenen Emissionen im Lebenszyklus unterscheidet und zusätzlich den (zeitweilig) gespeicherten Kohlenstoff (es wird hier empfohlen, den Begriff carbon content in Anlehnung an den Stand der Normung zu nutzen) und das Recyclingpotenzial (Modul D1) angibt. Beachtenswert ist, dass der gespeicherte Kohlenstoff nicht mit dem Treibhauspotenzial verrechnet wird. Vorgeschlagen werden Klassen zum Treibhauspotenzial für ausgewählte Gebäude- und Nutzungsarten (Angaben für den Lebenszyklus auch absolut (in Deutschland und gemäß Entwurf zur EPBD würden sie auf einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren aufgeteilt)).

Deutlich wird, dass Vorschläge und Erfahrungen für unterschiedliche Darstellungsformen zu spezifischen Themen bereits vorliegen. In der Regel gehen die Darstellungen einher mit Bewertungsmaßstäben bzw. -skalen.

Project Name Project ABC Project Sector Office Assessment Date 27/05/2021 Assessment By (company) LETI Location of Data London	Upfront Carbon A1-5 exc. sequestration (kgCO ₂ e/m ²)	Embodied Carbon A1-5, B1-5, C1-4 (kgCO ₂ e/m ²)
A++	100	150
A+	225	345
A	350	530
B	475	750
C	600	970
D	775	1180
E	950	1400
F	1100	1625
G		
Non-Listed Typology:		
Sequestered Carbon:	-50 kgCO ₂ e/m ²	
Module D:		30 kgCO ₂ e/m ²

Abbildung 18 Darstellmöglichkeit „rating badge“ für „graue“ Anteile inkl. Erstaufwand als Davonposition (Quelle: LETI, ohne Jahr).

Upfront Carbon, A1-5 (exc. sequestration)

Band	Office	Residential	Education	Retail
A++	<100	<100	<100	<100
A+	<225	<200	<200	<200
A	<350	<300	<300	<300
B	<475	<400	<400	<425
C	<600	<500	<500	<550
D	<775	<675	<625	<700
E	<950	<850	<750	<850
F	<1100	<1000	<875	<1000
G	<1300	<1200	<1100	<1200

LETI 2030 Design Target
LETI 2020 Design Target

Embodied Carbon, A1-5, B1-5, C1-4 (inc. sequestration)

Band	Office	Residential	Education	Retail
A++	<150	<150	<125	<125
A+	<345	<300	<260	<250
A	<530	<450	<400	<380
B	<750	<625	<540	<535
C	<970	<800	<675	<690
D	<1180	<1000	<835	<870
E	<1400	<1200	<1000	<1050
F	<1625	<1400	<1175	<1250
G	<1900	<1600	<1350	<1450

RIBA 2030 Built Target

All values in kgCO₂e/m² (GIA)

Abbildung 19 Zielsetzungen für „graue Anteile“ bei unterschiedlichen Gebäudekategorien (Quelle: LETI, ohne Jahr).

4 Untersuchungen zu Vereinfachungen bei angewandter Ökobilanzierung

Voraussetzung für die Einführung ökobilanzieller Bewertungen im Ordnungsrecht ist die Verfügbarkeit robuster und richtungssicherer Bewertungsmethoden. Der Bearbeitungsaufwand soll angemessen sein. Damit stellt sich unter anderem die Frage, ob, wo und wie Berechnungsmethoden weiterentwickelt werden können, so dass richtungssichere Ergebnisse mit angemessenem Aufwand erzielt werden. Diese Diskussion wird nachstehend geführt. Eine angestrebte „Vereinfachung“ ist dabei nicht automatisch mit einer Reduzierung der Bearbeitungstiefe verbunden, sie kann auch durch Entwicklung und Nutzung geeigneter Kennwerte und Hilfsmittel erreicht werden. Im Idealfall kann durch die Einführung von Kennwerten der Aufwand reduziert und gleichzeitig eine Verbesserung der Genauigkeit der Aussage erreicht werden (siehe Sockelbeträge der TGA in Kapitel 3.1.3).

Im Rahmen der Forschungsarbeit wurden mögliche Ansätze für die Reduzierung des Bearbeitungsaufwands sowie entsprechende Berechnungsmodelle ausgewählt, um die getroffenen Annahmen zu verifizieren. Ziel ist es, die Auswirkung von Vereinfachungen auf die Genauigkeit/Richtungssicherheit der Bewertungsergebnisse beurteilen zu können.

Ausgangsbasis ist dabei das bereits ordnungsrechtlich eingeführte GEG und das bislang in Förderprogrammen der KfW zugrunde gelegte QNG, beschränkt auf die Rechenregeln zur LCA. Die spezifischen Randbedingungen wurden untersucht, in denen sich GEG und LCA nach den Rechenregeln des QNG unterscheiden, Vor- oder Nachteile bieten und ggf. vereinheitlicht werden müssen. Insbesondere soll überprüft werden, ob und inwieweit Ergebnisse einer GEG-Berechnung und Nachweisführung wie bislang direkt als Teilergebnis in eine ökobilanzielle Bewertung übernommen werden können – dies reduziert bereits den Aufwand. Um einen Vergleich der bereits eingeführten Methoden zur Bilanzierung von Gebäuden hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen zu ermöglichen, werden beide Methoden unter den auch für die Analyse der Vereinfachungsmöglichkeiten zugrunde gelegten Kategorien betrachtet. Gleichzeitig sollen Unterschiede im Betrachtungsrahmen sowie Festlegungen zur Bezugsgröße und des Bewertungsmaßstabes in die Überlegungen einbezogen werden. In der vergleichenden Betrachtung werden die Unterschiede in folgenden Kriterien herausgearbeitet:

4.1 Analysestruktur für den Methodenvergleich

Nachfolgend wird die gewählte Analysestruktur kurz vorgestellt und beschrieben. Diese Aspekte wirken sich wesentlich auf die Komplexität der Berechnung, die Planungssicherheit in frühen Planungsphasen und die zu erzielende Lenkungswirkung aus. Sie unterscheiden sich signifikant in der Herangehensweise nach GEG und Lebenszyklusanalyse im QNG. Die genannten Kriterien werden auch der Untersuchung von Vereinfachungsmöglichkeiten zugrunde gelegt.

Methode:

Präzise, detaillierte Beschreibung der Methode: Betrachtete Phasen des Lebenszyklus, Bewertungsmaßstab, Bezugsgröße notwendige Hilfsmittel, Werkzeuge, Daten

Handhabbarkeit:

Beschreibung der Integration der Methode in Planungsprozesse (Wer, Wann, Wie, Was?)

Aufwand:

Beschreibung zusätzlich notwendiger Arbeitsschritte / Leistungen, ggf. in unterschiedlichen Leistungsphasen

Planungssicherheit:

Herstellung einer belastbaren Aussage der Ergebnisse in frühen Leistungsphasen hinsichtlich der Erfüllung öffentlich-rechtlicher Anforderungen

Fehleranfälligkeit:

Können Fehler zu großen Abweichungen führen, sind Fehler durch die Bearbeiter einfach zu erkennen?

Lenkungswirkung:

Können bereits in frühen Planungsphasen Abschätzungen einfach getroffen werden?

Genauigkeit:

Welche Abweichungen im Vergleich zu einer individuellen / detaillierten Berechnung sind zu erwarten?

Materialinventar:

Ist die Methode anschlussfähig für die Darstellung eines Materialinventars. Wie sind Aspekte der Kreislaufwirtschaft berücksichtigt?

Prüffähigkeit:

Wie kann eine Prüfung der Methode durch die Vollzugsbehörden erfolgen?

4.2 Analyse des Gebäudeenergiegesetzes (GEG)

Das Gebäudeenergiegesetz stellt den Status Quo und somit die Ausgangssituation dar, an der ein zusätzlicher Aufwand durch die ordnungsrechtliche Einführung einer angewandten Ökobilanzierung im Gebäudelebenszyklus gemessen werden kann. Beim Vergleich von GEG und LCA ist jedoch zu beachten, dass sich die Systemgrenzen der Betrachtung bei einer LCA erweitern und die Ergebnisse eine deutlich höhere Aussagekraft hinsichtlich der durch ein Gebäude verursachten Umweltwirkungen haben.

Methode

Das GEG formuliert ordnungsrechtliche Anforderungen an den Primärenergiebedarf nicht erneuerbar, sowie an die thermische Qualität der Gebäudehülle. Ob darüber hinaus gehende Anforderungen, zum Beispiel für den Erhalt von Fördermitteln bestehen, ist im Planungsprozess zuerst zu klären. Die Einhaltung dieser festgelegten Anforderungen wird dann in der Regel mit einer Energiebilanz nach DIN V 18599 nachgewiesen.

Der erste Schritt ist die Festlegung der thermischen Qualität der Bauteile der Gebäudehülle. Dies kann zunächst mittels festen U-Werten erfolgen, alternativ können auch vorläufige Festlegungen zur Dicke und Qualität der Bauteilschichten getroffen werden und iterativ mit der Auslegung der Anlagentechnik weiterentwickelt werden. Anhand der Planunterlagen werden dann die Flächen der einzelnen Bauteile ermittelt und ein Gebäudemodell aufgebaut. Basierend auf diesen ersten Ergebnissen werden Festlegungen hinsichtlich der Bauteilaufbauten und Anlagentechnik getroffen. Änderungen werden im Planungsverlauf begleitend in der GEG-Bilanz nachgeführt, um die Auswirkungen zu prüfen und die Einhaltung der Anforderungen weiterhin zu gewährleisten. Zuletzt erfolgt ein Abgleich mit dem fertiggestellten Gebäude, um abschließend den Energieausweis auszustellen.

Betrachtete Phasen des Lebenszyklus

Das GEG formuliert Anforderungen an Gebäude, die die Begrenzung der Inanspruchnahme von Primärenergie, nicht erneuerbar im Betrieb zum Ziel haben. Im Energieausweis müssen zusätzlich die energiebedingten Treibhausgasemissionen (Modul B6.1) verpflichtend ausgewiesen werden. Nebenanforderungen werden an die bauliche und technische Ausführung gestellt. Die gebäudebezogenen Aufwendungen werden dabei nicht berücksichtigt (vgl. Abb. 20).

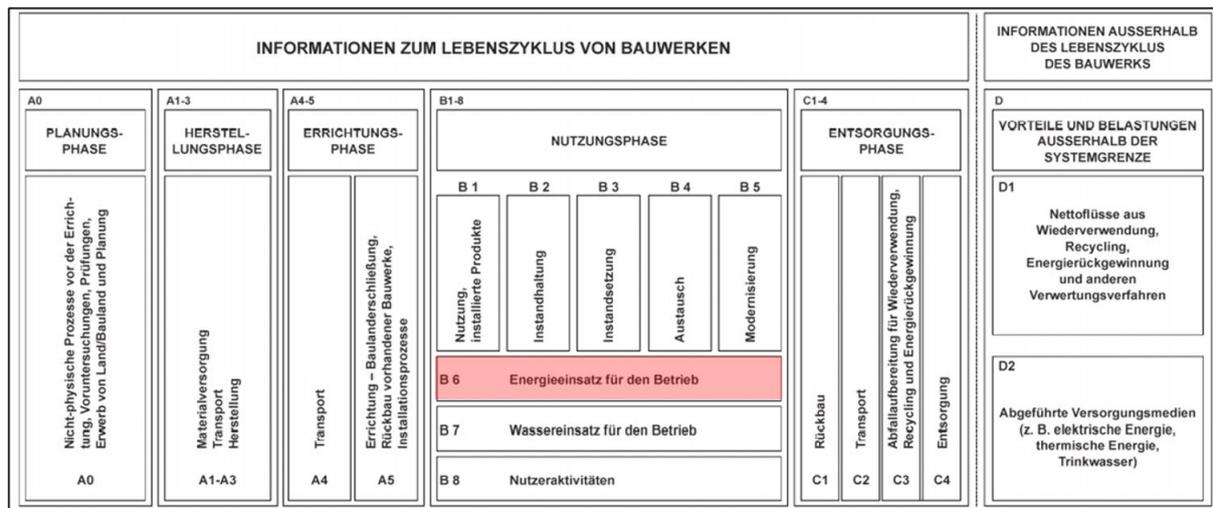


Abbildung 20 Phasen und Module nach EN 15643-1, Berücksichtigung im GEG (Quelle: eigene Darstellung)

Bewertungsmaßstab

Das GEG formuliert einen Anforderungswert an den Primärenergiebedarf nicht erneuerbar im Betrieb. Der Anforderungswert ist dabei nicht einheitlich vorgegeben, sondern wird anhand eines Referenzgebäudes gleicher Kubatur und Flächenanteile der Außenbauteile (opak / transparent) mit vorgegebenen Rechenwerten individuell ermittelt. Der so ermittelte Anforderungswert muss für die Erfüllung der Anforderungen des GEG derzeit um 25 % im Neubau unterschritten werden. Die wesentlichen Stellschrauben hierfür hierfür der bauliche Wärmeschutz, die Haustechnische Lösung und der/die gewählte(n) Energieträger.

Bezugsgröße

Bezugsgröße ist die beheizte NRF (Nichtwohnungsbau).

Handhabbarkeit

Die Erstellung der GEG-Bilanz erfordert die Zusammenarbeit mit der Objektplanung. Es handelt sich um ein etabliertes Berechnungsverfahren, mit dessen Anwendung die Planer in der Regel vertraut sind.

Aufwand

Der Aufwand ist stark von der Gebäudegröße und -komplexität abhängig. Besonderen Einfluss haben dabei die Gebäudegeometrie sowie die Anzahl der Nutzungszonen im Gebäude. Da es sich um ein auch ordnungsrechtlich etabliertes Verfahren handelt, sind die zuständigen Planer aber mit dem zu erwartenden Aufwand vertraut.

Planungssicherheit

Die Abschätzung des Primärenergiebedarfs ist anhand des Vergleichs der U-Werte und der Primärenergiefaktoren mit den Vorgaben für das Referenzgebäude bereits in der Vorplanung (LPH2) mit hinreichender Sicherheit möglich. Auch für eine erhöhte Qualität (Effizienzhaus-Standard) können die notwendigen Maßnahmen vorgegeben und durch die Planung im Neubau in der Regel auch umgesetzt werden. Ein Optimierungspotenzial in Bezug auf die relative Qualität kann daher gut identifiziert, kommuniziert und umgesetzt werden.

Fehleranfälligkeit

Fehler können besonders bei der Flächenermittlung der verschiedenen Bauteile entstehen, dabei sind kleinere Abweichungen der Bauteilflächen jedoch in den Ergebnissen kaum erkennbar. Auch die Abbildung der Anlagentechnik kann je nach Komplexität fehleranfällig sein, wobei erhebliche Fehler durch unplausible Ergebnisse auffallen und bei entsprechender Erfahrung auch von den Bearbeitern erkannt werden.

4.2.1 Lenkungswirkung

Wichtige Parameter für den absoluten Energiebedarf werden bei dieser Betrachtung nicht als Optimierungspotenziale berücksichtigt. Ein günstiges A/V-Verhältnis, die bewusste Wahl der Orientierung sowie angemessene Fensterflächenanteile werden hier nicht honoriert.

Der Endenergiebedarf pro Quadratmeter wird häufig erst in der zur Entwurfs- oder Genehmigungsplanung durchgeführten Berechnung nach DIN V 18599 ermittelt. Zwar wird in der HOAI klar auf die Erstellung erster Modelle zur energetischen Betrachtung auch im Rahmen der Vorplanung hingewiesen. Viele Büros agieren hier aber so, dass sie vorläufig nur eine Berechnung zum sommerlichen Wärmeschutz liefern, die zunächst keine Rückschlüsse auf die energetische Gesamt-Performance des Gebäudes liefert.

4.2.2 Genauigkeit

Die Genauigkeit der Berechnung an sich, ist bei fehlerfreier Abbildung in Bezug auf den Betrachtungsrahmen, als hoch zu bewerten. Es treten Abweichungen zu den realen Verbräuchen im Betrieb auf.

4.2.3 Materialinventar

Die für die Berechnung der U-Werte benötigten Schichtaufbauten der Bauteile der thermischen Hülle liefern wesentliche Informationen zum verbauten Material. Dabei werden allerdings Innenbauteile, sowie thermisch nicht relevante Schichten nicht erfasst. Für eine umfassende Ökobilanzierung sowie die Beschreibung der stofflichen Zusammensetzung des kompletten Gebäudes müssten diese Informationen zusätzlich erhoben werden.

4.2.4 Prüffähigkeit

Die Vielzahl der Eingangsgrößen und die unterschiedlichen Ergebnisausgaben verschiedener Software erschweren die Prüfung von GEG-Bilanzen. 2021 wurde daher die DIN/TS 18599 Beiblatt 3 veröffentlicht, mit dem Ziel ein standardisiertes Ausgabeformat zu etablieren. Dies könnte die Prüffähigkeit erhöhen, da aktuell in erster Linie Plausibilitätsprüfungen möglich sind, die entsprechende Erfahrungswerte in Norm und Software voraussetzen.

4.3 Analyse der Ökobilanz nach der QNG-Methodik

Methodik

Die folgenden Abschnitte beziehen sich auf die Lebenszyklusanalyse nach den Rechenregeln des QNG.

Betrachtete Phasen des Lebenszyklus

Die LCA setzt auf den Ergebnissen der Energiebedarfsberechnung nach DIN V 18599 auf. Der hier ermittelte Endenergiebedarf ist Ausgangsbasis für die Berechnung der Umweltwirkungen im Betrieb. Zusätzlich wird der Nutzerstrom mit einem pauschalen Ansatz berücksichtigt. Neben dem Betrieb werden die Umweltwirkungen durch die Konstruktion (KG300 + 400) in ausgewählten Lebensphasen mitberücksichtigt (Abb. 21).

Bewertungsmaßstab

Im QNG sind für den Wohnungsbau für den Primärenergiebedarf nicht erneuerbar und zusätzlich zu den Treibhausgasemissionen Anforderungswerte in zwei Qualitätsstufen vorgegeben (QNG-PLUS und QNG-PREMIUM). Diese Anforderungswerte sind fest vorgegeben in kWh/m²RNRFR und in kgCOR2R-Äquiv./m²RNRFR und gel-

ten somit für alle Bauvorhaben gleichermaßen. Die Rechenregeln im Nichtwohnungsbau unterscheiden sich, da hier anhand des GEG-Referenzgebäudes zunächst ein dynamischer Benchmark für den betriebsbedingten Anteil gebildet wird, der in den projektspezifischen Anforderungswert einfließt.

Bezugsgröße

Die ermittelten Gesamtwirkungen werden auf die Nettoraumfläche (NRF) gesamt des Gebäudes bezogen.

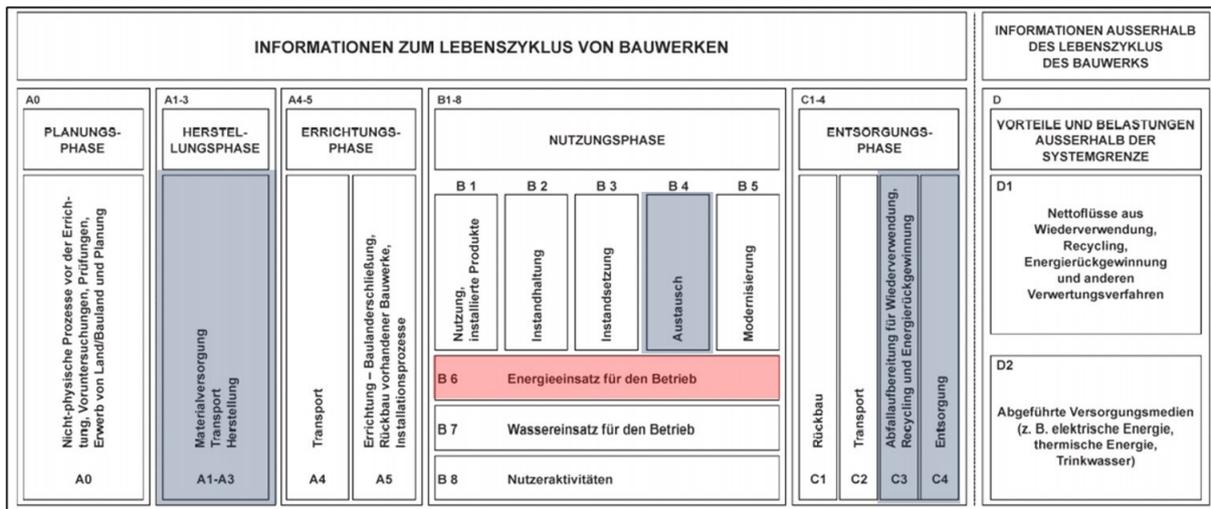


Abbildung 21 Phasen und Module nach EN 15643-1, Berücksichtigung in der LCA (Quelle: eigene Darstellung)

Handhabbarkeit

Die Anwendung erfordert die Zusammenarbeit der Objektplanung und verschiedener Fachplaner. Die Daten liegen im Projekt in der Regel vor und müssen strukturiert übergeben werden. In der Regel sind die Daten für die Eingabe aufzubereiten, einzelne Daten sind zum Teil gesondert zu erfassen. Die frühzeitige Einschätzung der Ergebnisse sowie die Erstellung der Ökobilanz erfordert die Modellierung von Bauelementen und die Zuordnung von Datensätzen zu der vorliegenden Mengenermittlung.

Aufwand

Es entsteht ein hoher Aufwand durch die Modellierung der kompletten Bauteile (Schichtabfolgen) und die Zuordnung von Massen- bzw. Flächenansätzen in den Ökobilanz-Softwaretools. Ggf. kommt auch eine tabellarische Auflistung und manuelle Verknüpfung von entsprechenden Datensätzen vor. Auswertung und Analyse der Ergebnisse sind bisher kaum in die Tools integriert und müssen separat erfolgen.

Planungssicherheit

Aufgrund der Komplexität der Anforderungen ist eine Ermittlung der Ergebnisse nur auf Basis von Vorarbeiten der Fachplaner möglich bzw. auf Basis von Erfahrungswerten. Frühzeitige, genauere Abschätzungen und Variantenvergleiche sind mit einem höheren Aufwand verbunden. Softwarelösungen können hier Abhilfe schaffen. Im Rahmen von Forschungsarbeiten wird bereits an einem Abschätzungstool gearbeitet, welches bis Ende 2022 erstellt wird. Die Erstanwendung und Fortschreibung erfolgen 2023.

Fehleranfälligkeit

Fehler können entstehen bei der Beschreibung der Bauteile (insbesondere bei der Abschätzung von Schichtdicken für Farben, Lacke, Folien, Bleche), durch fehlende Bauteilschichten (Kleber, Versiegelungen) und Materialien, bei der Eingabe von Flächen, durch die falsche Angabe von Nutzungsdauern, sowie durch Fehler in

den verwendeten Tools. Die Eingabe erfordert in der Regel die Auswahl und Nutzung von deutlich über 50 unterschiedlichen Datensätzen zu Bauprodukten, Bauteilen und haustechnischen Systemen, Fehler können ggf. durch eine individuelle Analyse der Umweltwirkungen identifiziert werden. Durch eine parallele Ermittlung der Baukosten kann über eine Plausibilitätsprüfung die Vollständigkeit des Gebäudemodells überprüft werden.

Lenkungswirkung

Grundsätzlich besteht eine Lenkungswirkung hinsichtlich der Optimierung von Energiebedarf, Energiebedarfsdeckung und Konstruktion. In sehr frühen Leistungsphasen sind nicht immer belastbare Eingabedaten verfügbar, die eigentliche Bilanzierung erfolgt in LPH3 oder später. Dadurch können Optimierungspotenziale nicht immer frühzeitig (genug) auch mit Zahlen belegt werden.

Genauigkeit

Die Genauigkeit ist bei fehlerfreier Abbildung hoch. Abschneidekriterien liegen bei 1 % der Umweltwirkungen für einzelne Bauprodukte bzw. bei 5 % der gesamten Umweltwirkungen.

Materialinventar

Der im Rahmen der Dokumentationsregeln geforderte Bauteilkatalog enthält detaillierte Angaben zu Schichtaufbauten, Materialien und Mengen. Somit bietet die detaillierte Erfassung auch über die eigentliche Lebenszyklusanalyse hinaus einen Mehrwert.

Prüffähigkeit

Die Prüffähigkeit ist aufgrund der Vielzahl der Eingaben und möglichen Fehlerquellen in der Regel nur über Plausibilitätsprüfungen möglich. Hierfür sind entsprechende Erfahrungswerte notwendig.

4.4 Vorschläge zur Anpassung von Systemgrenzen und Randbedingungen

4.4.1 Betrachtete Lebensphasen

Es ist naheliegend, die Lebenszyklusphasen zu übernehmen, wie sie im QNG und BNB bislang berücksichtigt werden. Es ist zu prüfen, ob aufgrund der Umweltwirkungen durch F-Gase eine Erweiterung in B1 erfolgen muss. In der Normung zur künftigen EN 15978-1 wird derzeit diskutiert, die F-Gase dem Modul B6 zuzuordnen.

	A0	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	C1	C2	C3	C4	D1	D2
Planung																				
Materialversorgung		X																		
Transport		X																		
Herstellung		X																		
Transport																				
Errichtung																				
Nutzung Produkte																				
InstandhaltungP																				
Instandsetzung																				
Austausch										X										
Modernisierung																				
Energieeinsatz für den BetriebP												X								
Wassereinsatz für den Betrieb																				
Nutzeraktivitäten (optional)																				
Rückbau																				
Transport																				
Abfallaufbereitung																	X			
Entsorgung																	X			
Recyclingpotenzial																			(z)	
Effekte exportierter Energie																				(z)

Tabelle 11 Mögliche Systemgrenzen für „graue“ Anteile; (z) = zusätzlich ausgewiesen

4.4.2 Bewertungsmaßstab

Es ist möglich, im Ordnungsrecht zum Wohnungsbau analog zum QNG mit fest vorgegebenen Benchmarks oder Teilbenchmarks zu arbeiten, um das Optimierungspotenzial vollständig zu adressieren. Feste Benchmarks als Anforderungen sind für Gebäude mit hohem Energiebedarf (zum Beispiel aufgrund schlechter A/V-Verhältnisse, hoher Fensterflächenanteile) aber schwieriger zu erfüllen, als wenn bereits in Bedarfsplanung und Entwurf Grundlagen des energiesparenden Bauens berücksichtigt werden. Im Nichtwohnungsbau ist dieses Vorgehen allerdings aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Nutzungsarten nicht geeignet, hier sind ggf. andere Ansätze zu wählen. Hierfür wurde die Nutzung eines abgewandelten Referenzgebäudeverfahrens für den betrieblichen Teil entwickelt. Im Sinne einer einheitlichen Methodik kann diese Vorgehensweise auch für den Wohnungsbau angewandt werden.

4.4.3 Bezugsgröße

Der Bezug der Umweltwirkungen auf die gesamte NRF wie nach den Rechenregeln für LCA nach QNG vorgesehen begünstigt Gebäude mit Keller oder Tiefgaragen. Die Umweltwirkungen für den Betrieb werden auf die Gesamtfläche umgelegt, so dass Gebäude mit überproportional großen unbeheizten Nebenflächen systematisch bevorzugt werden. Grundsätzlich führen die unterschiedlichen Bezugsgrößen für die GEG-Berechnung und die Lebenszyklusanalyse in der Praxis oft zu Verständnisproblemen. Eine Vereinheitlichung sollte angestrebt werden. Neben einer Vereinheitlichung der Bezugsfläche ist auch die Ermittlung von individuellen Benchmarks anhand des GEG-Referenzgebäudes denkbar. So wird einem festen Anteil für die gebäudebezogenen Umweltwirkungen ein individuell ermittelter betriebsbedingter Anteil hinzuaddiert. Dies entspricht der QNG-Methodik für Nichtwohngebäude.

Es wird empfohlen, die Umweltwirkungen im Gebäudelebenszyklus auf eine Bezugsgröße zu beziehen, die sich für die jeweilige Gebäude- und Nutzungsart eignet und den Anforderungswert mit Hilfe des Referenzgebäudes zu ermitteln.

4.5 Analyse und Bewertung möglicher Vereinfachungen von Rechenregeln

Es muss unterschieden werden zwischen der vereinfachten Berechnung von Energiekennwerten für den Betrieb und der Ermittlung von Umweltwirkungen durch die Konstruktion. Folgende Methoden werden betrachtet und nach den Kriterien in Abschnitt 4.1 beschrieben:

- Tabellenverfahren
- Verfahren unter Nutzung von Kennwerten für Flächenarten (Zonen)
- Vereinfachtes Modellgebäudeverfahren („GEG-Easy“)
- Nutzung von Bauteilkatalogen
- Variieren/Abwandeln von Modellgebäuden
(Anpassung der Geometrie, Austausch von Bauteilen)
- Verwendung von Sockelbeträgen / Pauschalwerten

4.5.1 Tabellenverfahren

Methoden

Das Tabellenverfahren gem. DIN/TS 18599-12:2021-04 (Wohngebäude) und DIN/TS 18599-13:2020-10 (Nichtwohngebäude) ermöglicht die energetische Bewertung von Gebäuden mittels Handrechnung. Dabei wird schrittweise mit verschiedenen Tabellen der Primärenergiebedarf von Gebäuden ermittelt. Eine Erweiterung des Verfahrens um die Umweltwirkungen von Konstruktion und Betrieb ist entweder durch Ergänzung bereits vorhandener Tabellen oder durch zusätzliche Tabellen möglich. Innenbauteile, die für die GEG-Bilanz nicht von Bedeutung sind, könnten pauschal in Abhängigkeit der Gebäudegröße und Bauart berücksichtigt werden.

Handhabbarkeit

Das Tabellenverfahren ermöglicht die manuelle Berechnung der GEG-Bilanz, es ist jedoch aufwändig. Zudem ist entsprechendes Fachwissen notwendig. Anwendbar ist das Verfahren durch die Fachplanung Bauphysik.

Aufwand

Der Aufwand ist relativ hoch. Anpassungen aufgrund von Planungsänderungen sind mit deutlich größerem Aufwand verbunden als bei der Verwendung von entsprechender Software für die GEG-Bilanz.

Planungssicherheit

Hinsichtlich des Betriebsanteils ist die Planungssicherheit mit GEG-Bilanzen gleichzusetzen und daher unter der Voraussetzung gewissenhafter Anwendung als hoch einzustufen. Die Planungssicherheit für den Konstruktionsanteil ist abhängig von dessen Integration in das Verfahren, eine hohe Planungssicherheit sollte dabei angestrebt werden.

Fehleranfälligkeit

Aufgrund der Vielzahl der Schritte sind Fehler nicht unwahrscheinlich. Der Umfang des Verfahrens kann die Fehlersuche erschweren, außerdem ist entsprechende Erfahrung notwendig, um unrealistische Werte zu erkennen.

Lenkungswirkung

Der Umfang des Verfahrens macht eine Variantenberechnung oder iterative Berechnung schwer, so dass von einer geringen Lenkungswirkung ausgegangen werden kann.

Genauigkeit

Ungenauigkeiten sind vor allem im Hinblick auf die pauschale Bewertung der Innenbauteile möglich.

Materialinventar

Für das Materialinventar stellt diese Methode keinen Anhaltspunkt zu verbauten Materialien und Mengen dar.

Prüffähigkeit

Der Umfang und die Komplexität machen eine Prüfung schwer. Eine stichprobenhafte Prüfung der Tabellen reicht nicht aus, um grundlegende Fehler auszuschließen.

Anmerkungen

Die Verbreitung des Tabellenverfahrens ist gering. In der Praxis wird in aller Regel auf entsprechende Software zurückgegriffen. Eine Erweiterung des Verfahrens für die ökobilanzielle Bewertung erscheint daher nicht zielführend.

4.5.2 Flächenarten

Methode

Für den Konstruktionsanteil werden die Flächenarten gem. DIN 277 (NUF 1-7, TF, VF) ermittelt. Anschließend erfolgt die Multiplikation der Flächen mit entsprechenden Kennwerten, die abschließend aufsummiert werden. Der Betriebsanteil wird anhand der GEG-Bilanz ermittelt. Bei Bezug auf die Flächenarten nach DIN 277 wäre eine Anpassung der Werte bei einer Weiterentwicklung der DIN notwendig.

Handhabbarkeit

Die Methode kann von den Objekt- oder Fachplanern nahezu ohne weitere Qualifikation angewendet werden. Die Anwendung ist bereits in der Vorplanung, spätestens in der Entwurfsplanung möglich. Notwendige Eingangsdaten sind die Flächen gem. DIN 277 (sowie ggf. zusätzliche Spezifikationen). Diese werden im Rahmen der Vorplanung ermittelt. Die GEG-Bilanz muss entsprechend des Leistungsbilds Wärmeschutz und Energiebilanzierung in LPH 2 aufgestellt werden.

Aufwand

Der Aufwand ist gering, da die Ermittlung von Grundflächen in der Regel ohnehin erfolgt. Die Flächen müssen den entsprechenden Kennwerten zugewiesen und damit multipliziert werden. Anschließend muss die Summe berechnet werden.

Planungssicherheit

Hinsichtlich des Betriebsanteils entspricht die Planungssicherheit einer GEG-Bilanz und ist damit als hoch einzuschätzen. Für den Konstruktionsanteil sind die Flächenkennwerte so zu ermitteln, dass auch hier bereits früh eine hohe Planungssicherheit erreicht werden kann, sofern keine wesentlichen Änderungen hinsichtlich der Flächenaufteilungen auftreten.

Fehleranfälligkeit

Fehler bei der Zuordnung der Flächenarten können zwar nicht ausgeschlossen werden, sind aber unwahrscheinlich und leicht korrigierbar. Ungenauigkeiten bzw. Abweichungen sind in der Regel auf die Kennwerte zurückführbar und für den Bearbeiter nicht erkennbar/nachvollziehbar.

Lenkungswirkung

Flächenaufstellungen/Raumprogramme sind teilweise schon vor der Planung im Rahmen der Bedarfsplanung vorhanden, daher können auch früh erste Abschätzungen getroffen werden. Die Lenkungswirkung ist allerdings gering, da Bauteile nicht einzeln in die Berechnung eingehen. Optimierungen hinsichtlich Suffizienz werden aber sichtbar.

Genauigkeit

Die Genauigkeit der Ermittlung ist abhängig von der Genauigkeit der Kennwerte – ggf. ist eine sinnvolle Differenzierung notwendig (zum Beispiel nach Bauweise). Die ermittelten Kennwerte müssen mit Beispielberechnungen detailliert überprüft werden.

Materialinventar

Für das Materialinventar stellt diese Methode keinen Anhaltspunkt zu verbauten Materialien und Mengen dar.

Prüffähigkeit

Die Prüffähigkeit für den Konstruktionsanteil ist gut. Es sind nur die Grundflächen und die Zuordnung der Flächen zu prüfen (auch stichprobenartig möglich).

Eine Prüfung des Betriebsanteils ist schwieriger. Möglich wäre eine stichprobenartige Prüfung analog der Prüfung von Energieausweisen. Alternativ ist eine automatisierte Plausibilitätsprüfung denkbar (ähnlich der Prüfung bei der Erstellung der Bestätigung zum Antrag für die BEG-Förderung). Auch die Ausweitung der Prüfung der GEG-Bilanz durch Sachverständige, wie zum Beispiel in Berlin, wäre möglich.

Anmerkungen

Fraglich ist, ob und wie Kennwerte ermittelt werden, die eine ausreichend genaue Ermittlung ermöglichen.

4.5.3 Vereinfachtes Modellgebäudeverfahren (in Anlehnung an „GEG-Easy“)**Methode**

Nach § 31 des GEG kann die Erfüllung der Anforderungen an zu errichtende Wohngebäude nach § 10 Abs. 2 i.V.m. §§ 15–17 und §§ 34–45 durch ein vereinfachtes Nachweisverfahren, das sog. Modellgebäudeverfahren gem. Anlage 5 GEG nachgewiesen werden.

Die Voraussetzungen für die Anwendung des Modellgebäudeverfahrens sind unter Anlage 5, 1. a) – o) GEG beschrieben. Sind diese Anforderungen erfüllt, kann mit Tabellen verschiedenen Anlagenvarianten in Abhängig-

keit von ihrer beheizten BGF ein erforderliches Wärmeschutzniveau zugewiesen werden durch die Einhaltung der Anforderungen des GEG erreicht wird. Eine Erweiterung des Verfahrens ermöglicht in einem weiteren Schritt die Zuordnung von Bauweisen/maximalen Umweltwirkungen für Bauteile.

Die Erweiterung des Verfahrens ist formal einfach und kann in das GEG integriert werden. Analog zu den Varianten des Wärmeschutzes werden anhand der festgelegten Zielwerte Varianten der Bauweise/-konstruktion ermittelt, die eine Erfüllung garantieren.

Handhabbarkeit

Die Methode kann von den Fachplanern nahezu ohne weitere Qualifikation angewendet werden. Die Anwendung ist bereits in der Vorplanung, spätestens in der Entwurfsplanung möglich. Notwendige Daten bzgl. der Anwendbarkeit des Verfahrens beziehen sich vor allem auf die Gebäudeabmessungen/-kubatur. Diese sollten bereits in der Vorplanung mit ausreichender Genauigkeit vorhanden sein.

Aufwand

Ein zusätzlicher Aufwand ist kaum vorhanden. Die Zuordnung der notwendigen Konstruktionsvariante erfolgt analog zur Zuordnung der Wärmeschutzvariante.

Planungssicherheit

Das Verfahren wurde als vereinfachte Nachweismöglichkeit für die Anforderungen des GEG entwickelt. Die Ergänzung des Verfahrens um die Umweltwirkungen der Konstruktion sollte die gleiche Zielsetzung verfolgen. Sofern keine Änderung der Eingangsgrößen, wie der Anlagenkonfiguration oder der Voraussetzungen zur Anwendung des Verfahrens, erfolgt, ist eine Einhaltung der Anforderungen sichergestellt. Damit ist eine Planungssicherheit frühzeitig gegeben.

Fehleranfälligkeit

Fehler sind vor allem im Hinblick auf die Erfüllung der Voraussetzungen für die Anwendung des Verfahrens möglich. Formulare oder Formblätter zur Dokumentation können das Risiko von Fehlern minimieren.

Lenkungswirkung

Da das vereinfachte Modellgebäudeverfahren nur die Einhaltung der Mindestanforderungen garantiert, ist eine Lenkungswirkung nur geringfügig vorhanden. Eine Optimierung zur Senkung der Umweltwirkungen ist nicht möglich. Gleichzeitig bietet das Verfahren bereits in frühen Planungsphasen Sicherheit, dass die gesetzlichen Anforderungswerte erreicht werden.

Genauigkeit

Um die Einhaltung der Anforderungen zu garantieren, ist das Verfahren mit einem angemessenen Sicherheitszuschlag zu versehen, der eine entsprechende Ungenauigkeit bedingt. Dies dient gleichermaßen als Motivation für eine genauere Berechnung.

Materialinventar

Für das Materialinventar stellt diese Methode keinen Anhaltspunkt zu verbauten Materialien und Mengen dar.

Prüffähigkeit

Die Prüffähigkeit ist gut. Die Erfüllung der Voraussetzungen für die Anwendung des Modellgebäudeverfahrens kann anhand der Dokumentation einfach geprüft werden. Die richtige Zuordnung hinsichtlich Wärmeschutzniveau und Konstruktion ist ebenfalls einfach prüfbar.

Anmerkungen

Aufgrund der vielfältigen Voraussetzungen für die Anwendung des Modellgebäudeverfahrens, sowie der Festlegung auf zu errichtende Wohngebäude, findet es in der Praxis nur selten Anwendung. Eine Erweiterung des

Verfahrens hinsichtlich der Umweltwirkungen der Konstruktion kann eine Motivation für die Nutzung darstellen und dazu führen, dass die Anwendbarkeit häufiger geprüft wird. Die Änderung des Entwurfs, um die Anwendung zu ermöglichen scheint dennoch unwahrscheinlich. Darüber hinaus kann mit dem Modellgebäudeverfahren nur die Erfüllung der gesetzlichen Anforderungen nachgewiesen werden, höhere Anforderungen zum Beispiel der BEG-Förderung können nicht nachgewiesen werden, so dass in solchen Fällen die Anwendung ebenfalls ausscheidet. Das Verfahren sollte daher lediglich als ergänzendes Verfahren angesehen werden und wird im Weiteren nicht vertieft betrachtet.

4.5.4 Nutzung von Bauteilkatalogen

Methode

Betrachtet wird nur die Bilanzierung der Konstruktion. Für den Betrieb ist die Ermittlung der Kennwerte nach GEG beizubehalten und diese mit entsprechenden Ökobilanz-Datensätzen zu hinterlegen, ggf. werden zusätzliche Berechnungen zu den Erträgen einer BIPV erforderlich. Makroelemente stellen vollständig vorkonfektionierte Bauteile mit allen Bauteilschichten dar und werden in einem Bauteilkatalog zur Verfügung gestellt. Die Makroelemente müssen entsprechend durch die Bearbeiter ausgewählt und mit Flächenangaben hinterlegt werden. Notwendig ist hierfür ein Bauteilkatalog mit allen notwendigen Bauteilen der Außenhülle und dem Innenausbau. Die Bauteile sind in ausreichender Vielfalt und Genauigkeit vorzuhalten. Gleichzeitig muss die Zuordnung zu einzelnen Bauteilen trotz untergeordneter Abweichungen problemlos möglich sein, hierfür ist der Bauteilkatalog so einfach wie möglich zu halten. Es ist zu definieren, wie die Flächenerfassung erfolgen muss, ggf. in Abhängigkeit der jeweiligen Leistungsphase nach HOAI. Nachdem lediglich die Auswahl der Bauteile und Angabe der jeweiligen Fläche erforderlich ist, ist die Anforderung an die Software zunächst gering, die Erstellung des Bauteilkatalogs im Vorfeld ist dagegen aufwändig. Der Bauteilkatalog muss für folgende Bauteile unterschiedliche Konstruktionen vorhalten:

- KG 320 Gründung
- KG 330 Außenwänden
- KG 340 Innenwänden
- KG 350 Decken
- KG 360 Dächer

Handhabbarkeit

Die Methode kann von den Objekt- oder Fachplanern nahezu ohne weitere Qualifikation angewendet werden. Die Anwendung ist bereits in der Vorplanung, spätestens in der Entwurfsplanung möglich. Notwendige Eingangsdaten sind die Bauteilflächen, die Bezugsfläche und die Kenntnis der Bauteilaufbauten in einem ausreichenden Detaillierungsgrad (Abhängig auch vom Detaillierungsgrad des Bauteilkatalogs). Diese werden im Rahmen der Vorplanung ermittelt. In der Regel entspricht die Erstellung von Bauteilen bzw. eines projektspezifischen Bauteilkatalogs, zum Teil auf Basis bereits bestehender Bauteilvorlagen, beispielsweise in eLCA bereits heute dem regulären Vorgehen bei der Erstellung von gebäudebezogenen Ökobilanzen.

Aufwand

Die Methode baut auf vorhandenen Daten auf:

- Regeldetails im Rahmen der Vor-/Entwurfsplanung
- Flächenangaben im Rahmen der Kostenermittlung (Detaillierungsgrad je Leistungsphase)

Erforderlich ist zusätzlich

- Die Auswahl der Bauelemente
- Die Zuordnung von Flächen

Planungssicherheit

Die Erstellung der Ökobilanz für die Konstruktion im Lebenszyklus ist bereits in LPH 2 in hinreichender Genauigkeit möglich. Die Werte für den Endenergiebedarf liegen oft erst mit der Energiebedarfsberechnung nach DIN V 18599 nach LPH 3 vor. Nachdem die wesentlichen Entscheidungen zum Entwurf (inkl. A/V-Verhältnis, Fensterflächenanteile, Bauteilaufbauten, Energieversorgung etc.) zu diesem Zeitpunkt bereits getroffen wurden, ist für die Planungssicherheit vor allem die Vorabschätzung auf Basis entsprechender Erfahrungen wesentlich.

Fehleranfälligkeit

Die Methode schließt Fehler bei der Erstellung von Bauteilen durch die Bearbeiter aus (u. a. falsche Zuordnung von Datensätzen, Vernachlässigung wichtiger Bestandteile der Konstruktion, wie Kleber, Lacke, etc.).

Fehler können bei der Zuordnung der Bauteile entstehen, hier müssen die Bauelemente ausreichend deutlich beschrieben sein. Eine weitere Fehlerquelle ist die falsche Eingabe von Flächen, die hierdurch entstehenden Abweichungen sollten untersucht werden und ggf. Kontrollmechanismen in Erwägung gezogen werden (automatische Plausibilitätsprüfung).

Lenkungswirkung

Die Lenkungswirkung ist hoch, da bereits in einer frühen Planungsphase die Ergebnisse mit hinreichender Genauigkeit ermittelt werden können. Eine Optimierung in Teilbereichen (zum Beispiel unterschiedliche Farben, Unterkonstruktionen VHF oder ggf. Fassadenbekleidung) ist mit dieser Methode eher nicht möglich, da ansonsten die Anzahl der Bauelemente nicht mehr überschaubar wäre. Allerdings ist die individuelle Anpassung einzelner Elemente denkbar.

Genauigkeit

Die Genauigkeit ist abhängig vom Detaillierungsgrad des Bauteilkatalogs. Je detaillierter dieser ist, umso schwieriger wird die Auswahl des richtigen Elements und die Fehleranfälligkeit steigt; hier ist eine Abwägung zu treffen. Es ist eine Abweichung von deutlich unter 10% zu einer detaillierten Ermittlung anzustreben.

Materialinventar

Für das Materialinventar stellt diese Methode mit einem einfachen Ansatz einen groben Anhaltspunkt zu den verbauten Materialien und Mengen dar. Die Genauigkeit ist abhängig von der Anzahl der Bauelemente.

Prüffähigkeit

Die Prüffähigkeit ist gut, geprüft werden muss lediglich die Zuordnung von Bauteilen und die Plausibilität von Flächen.

Anmerkungen

Über eine Anpassbarkeit der Bauelemente kann eine höhere Vielfalt dargestellt und bessere Anschlussfähigkeit an das Materialinventar hergestellt werden. Dies erfordert jedoch gleichzeitig eine höhere Qualifikation der Bearbeiter und erfordert ggf. einen höheren Prüfaufwand.

4.5.5 Variieren/Abwandeln von Modellgebäuden

Methode

Grundlage der Bearbeitung ist die Auswahl eines typischen Modellgebäudes (Einfamilienhaus, Geschosswohnungsbau, Punkthaus etc.). Durch Eingaben der typischen Abmessungen des Baukörpers wird dieses angepasst. Einzelne Bauteile können auf Basis eines Bauteilkatalogs variabel ausgetauscht werden.

Notwendig wäre die Bereitstellung von unterschiedlichen Modellgebäuden. Mit Anpassung der Abmessungen des Gebäudes müssen ebenfalls typische Flächenangaben (Fläche Innenwände, Decken, Dach, Gründung) verbunden sein. Hierfür wären entsprechende Algorithmen zu entwickeln.

Notwendige Modellgebäude sind (allein für den Wohnungsbau und ohne Anspruch auf Vollständigkeit):

- Einfamilienhaus: Bungalow, zweigeschossig, Flachdach oder Satteldach
- Geschosswohnungsbau: Gebäuderiegel oder Punkthaus, mehrgeschossig
- Hochhaus

Diese wären mit unterschiedlichen Konstruktionen, energetischem Standard und technischer Ausstattung und ggf. Fensterflächenanteilen vorzuhalten. Möglich wäre hierbei auch die Verknüpfung von Energiestandards mit entsprechenden Kennwerten für den Endenergiebedarf sowie für Energieträger.

Neben der Bereitstellung von Modellgebäuden wäre auch hierfür die Entwicklung eines Bauteilkatalogs mit entsprechenden Bauteilvorlagen erforderlich.

Handhabbarkeit

Die Methode könnte von den Objekt- oder Fachplanern nahezu ohne weitere Qualifikation angewendet werden. Die Methode wäre bereits zu Beginn der Vorplanung anwendbar. Notwendige Eingangsdaten wären Gebäudetyp, die charakteristischen Abmessungen und die geplante Bauweise. Durch den Austausch von Bauelementen (zum Beispiel Stahlbeton vs. Ziegel oder Holz) könnten die Ergebnisse gleich oder in späteren Leistungsphasen angepasst werden.

Aufwand

Der Aufwand ist gering und beschränkt sich auf die Auswahl des passenden Modellgebäudes, die Eingabe der charakteristischen Maße und ggf. den Austausch von Makroelementen.

Planungssicherheit

Die Erstellung der Ökobilanz für die Konstruktion im Lebenszyklus ist bereits in LPH 2 in hinreichender Genauigkeit möglich. Werden anhand des Modellgebäudes und entsprechender Anpassung wesentliche Entscheidungen zum Entwurf (inkl. A/V-Verhältnis, Fensterflächenanteile, Bauteilaufbauten, Energieversorgung etc.) bereits in einer überschlägigen Energiebedarfsberechnung mitberücksichtigt, entsteht eine hohe Planungssicherheit.

Fehleranfälligkeit

Aufgrund der geringen Anzahl notwendiger Eingaben ist das Fehlerpotenzial gering.

Lenkungswirkung

Durch die Bereitstellung unterschiedlicher Modellgebäude können auch die Auswirkungen von Kubatur und zum Beispiel Fensterflächenanteil sehr frühzeitig und nachvollziehbar dargestellt werden. Eine Optimierung kann durch den Austausch von Bauelementen nachvollziehbar erfolgen. Gleichzeitig können auch typische Energiekennwerte für eine erste Ermittlung bereitgestellt werden. Die Lenkungswirkung ist hoch.

Genauigkeit

Aufgrund der generischen Flächenermittlung anhand typischer Kennwerte für zum Beispiel Innenwände wirkt sich die tatsächliche Grundrissgestaltung, also beispielsweise der Verzicht auf Innenwände, nicht auf die Ergebnisse aus. Es ist zu diskutieren, wie hoch eine Abweichung zu einer detaillierten Ermittlung sein kann um als noch akzeptabel zu gelten.

Materialinventar

Für das Materialinventar stellt diese Methode mit einem einfachen Ansatz einen groben Anhaltspunkt zu den verbauten Materialien und Mengen dar. Die Genauigkeit ist abhängig von der präzisen Eingabe der Bauelemente durch den Bearbeiter.

Prüffähigkeit

Die Prüffähigkeit ist gut, geprüft werden muss die Zuordnung zum Modellgebäude sowie die Anpassung der Bauelemente.

Anmerkungen

Grundsätzlich ist es mit dieser Methode möglich, bereits sehr frühzeitig Konstruktion und Betrieb insgesamt zu optimieren auch unter Berücksichtigung von Kubatur und Fensterflächenanteilen. Durch den Austausch von Bauelementen ist auch eine Optimierung der Konstruktion möglich. Allerdings ist der Aufwand der Bereitstellung von Daten hoch, dies kann im Rahmen dieser Ausarbeitung nicht näher untersucht werden. Grundsätzlich ist hier die Umsetzung in entsprechenden Softwareprogrammen denkbar. Hierfür müssten ggf. Regeln entwickelt werden, dies ist jedoch auch unabhängig von gesetzlichen Vorgaben denkbar.

4.5.6 Verwendung von Sockelbeträgen / Pauschalwerten für Bauwerksteile

Methode

Sockel- bzw. Pauschalwerte können innerhalb einer individuellen Ermittlung eine Vereinfachung darstellen. Sockelbeträge meinen in diesem Fall Umweltwirkungen pro Quadratmeter Bezugsfläche und können sich auf verschiedene Bauteile (Technik, Innenwände, Außenwände, Dach etc.) oder Bauweisen (Stahlbeton, Mauerwerk, Holz) beziehen. Es ist möglich, einen Teil der Ergebnisse individuell zu ermitteln und andere Wirkungen pauschal zu ergänzen. So erfolgt in der LCA (QNG) eine individuelle Ermittlung der Umweltwirkungen durch die Konstruktion, ergänzt um Pauschalbeträge für bestimmte Anteile der TGA. Es ist zu untersuchen, inwieweit die individuelle Ermittlung über weitere Pauschalbeträge vereinfacht werden kann. Die Verwendung von Sockelbeträgen beinhaltet grundsätzlich keine Optimierung. Die Höhe der Sockelbeträge wäre so zu wählen, dass eine detailliertere Ermittlung grundsätzlich vorteilhaft wäre und damit eine Optimierung des Gebäudes angestoßen wird. Je kleinteiliger Sockelbeträge zur Verfügung gestellt werden, umso näher würde sich das Ergebnis an der individuellen Ermittlung bewegen. Es ist denkbar, Sockelbeträge auf Ebene des Gebäudes bereitzustellen. Grundsätzlich sollten Sockelbeträge das Worst-Case-Szenario abdecken. Eine individuelle Berechnung ist dann lohnenswert, wenn das Gebäude auch hinsichtlich der Baustoffwahl optimiert wurde, also ein ambitionierter Ansatz bezüglich der Reduktion von gebäudebezogenen Umweltwirkungen verfolgt wird. Es kann diskutiert werden, welche Bereiche sinnvollerweise mit Sockelbeträgen abgebildet werden können. Eine weitere Option neben der Definition von Sockelbeträgen auf Gebäudeebene ist eine individuelle Ermittlung der Umweltwirkungen mit bereits verfügbarer Software (zum Beispiel eLCA) sowie die Verfügbarkeit geeigneter Sockelbeträge für definierte Anwendungsfälle und entsprechende Integration dieser in die bestehenden Tools. Im Rahmen des QNG wurden Sockelbeträge für Primärenergie und Treibhausgaspotenzial der Haustechnik entwickelt. In der Praxis wäre es vorteilhaft, für diese Sockelbeträge weitere Umweltwirkungen auszuweisen, da diese für die Zertifizierung benötigt werden und damit keine zusätzlichen Rechenoperationen notwendig sind. Dies ist insbesondere von Bedeutung, wenn die Förderung durch die KfW weiterhin an eine Nachhaltigkeitszertifizierung gekoppelt sein soll. Im Moment müssen zusätzlich zu der Ermittlung der Werte nach QNG die Standardberechnungen des jeweils angewendeten Zertifizierungssystems erfolgen, um die Umweltwirkungen in der Breite bewerten zu können. Für das Ordnungsrecht ist dies nicht relevant, sollte aber im Hinblick auf die Anschlussfähigkeit an bestehende Zertifizierungssysteme für Nachhaltiges Bauen nicht außer Acht gelassen werden.

Handhabbarkeit

Für eine individuelle Ermittlung müssen die detaillierten Bauteilaufbauten bekannt sein und korrekt mit Datensätzen und Flächenangaben hinterlegt werden. Es besteht ein Qualifizierungsbedarf für Objekt- oder Fachplaner. Die Sockelbeträge können einfach ergänzt werden und einen Teil der individuellen Ermittlung ersetzen.

Aufwand

Der Aufwand ist bei einer frühzeitigen Ermittlung hoch, da die Daten bereits sehr frühzeitig detailliert bereitgestellt werden müssen und eine Nachführung in späteren Leistungsphasen notwendig ist. Je mehr Bauteile als Sockelbeträge abgebildet werden, umso kleiner ist der Aufwand für die Erfassung aber auch die Genauigkeit der Ergebnisse.

Planungssicherheit

Je umfangreicher mit Sockelbeträgen gearbeitet wird, umso höher ist die Planungssicherheit. Abhängig ist diese aber auch hier davon, wann Energiekennwerte vorliegen, sofern diese nicht ebenfalls über Sockelbeträge abgebildet werden.

Fehleranfälligkeit

Die Anwendung der Sockelbeträge selbst ist wenig fehleranfällig. Fehler können entstehen durch die individuelle Erstellung von Bauteilen, die weiterhin für ausgewählte Bauteile erfolgen sollte (unrealistische Schichtstärken, falsche Zuordnung von Datensätzen, unvollständige Modellierung). Um diese Fehler zu erkennen, sind ausreichende Erfahrungen in der Interpretation der Ergebnisse notwendig.

Lenkungswirkung

Eine frühzeitige Abschätzung ist nur mit erheblichem Aufwand möglich. Gleichzeitig ist die Lenkungswirkung gering, da die Sockelbeträge festgelegt und per Definition nicht durch planerische Entscheidungen beeinflusst werden können. Eine Lenkungswirkung bestünde lediglich in der Auswahl der Konstruktion, beispielsweise bei unterschiedlichen Sockelbeträgen bei Holz, Stahlbeton oder Mauerwerk als Hauptmaterial der Konstruktion. Eine Optimierung durch eine einfache Kubatur, Reduktion von Bauteilen oder Optimierung der Konstruktion sind bei der Verwendung von Sockelbeträgen nicht möglich.

Genauigkeit

Je nach Anteil der verwendeten Sockelbeträge wird die Abweichung zu einer detaillierten Betrachtung unterschiedlich ausfallen.

Materialinventar

Ein Materialinventar kann mit der Verwendung von Sockelbeträgen nur bedingt im Sinne von Durchschnittswerten erstellt werden. Je nach Detaillierungsgrad sind die Informationen mehr oder weniger aussagekräftig. So ist es denkbar, neben der durchschnittlichen Umweltwirkung des Sockelbetrages für die TGA auch einen durchschnittlichen Kupferanteil auszuweisen. Werden jedoch sehr unterschiedliche Bauweisen mit einem einzelnen Sockelbetrag abgebildet – zum Beispiel auf Gebäudeebene – sind daraus nur wenig Rückschlüsse auf die verwendeten Materialien zu ziehen. Es ist möglich, zwischen dem Nachweis der Erfüllung von Anforderungen und der Dokumentation zu unterscheiden – siehe auch Energieausweis. In diesem Fall ist das Materialinventar auf Basis der tatsächlich verbauten Materialien, Bauprodukte und Systeme in LP 8/9 zu erstellen.

Prüffähigkeit

Die Prüfung der Verwendung von Sockelbeträgen kann einfach erfolgen, da hier lediglich der korrekte Flächenbezug und die Vollständigkeit und richtige Zuordnung der Sockelbeträge geprüft werden muss. Die Prüfung der weiterhin individuell ermittelten Anteile ist aufwendiger und erfordert eine Einschätzung zur Plausibilität der Ergebnisse.

Anmerkungen

Die Verwendung von Sockelbeträgen kann nur eine sinnvolle Ergänzung zu einer individuellen Ermittlung darstellen.

4.6 Ableitung von Vorzugsvarianten

Die Ergebnisse der qualitativen Analyse im vorherigen Abschnitt sind in Tab. 12 zusammengefasst. Im Vergleich bieten die einzelnen Verfahren Vor- und Nachteile.

	Tabellenverfahren	Flächearten	Vereinfachtes Modellgebäudeverfahren („GEG-Easy“)	Nutzung von Bauteilkatalogen	Variieren / Abwandeln von Modellgebäuden	Verwendung von Sockelbeträgen / Pauschalwerten	
						überwiegend	untergeordnet
Handhabbarkeit	●	●	●	●	●	●	●
Aufwand	●	●	●	●	●	●	●
Planungssicherheit	●	●	●	●	●	●	●
Fehlertoleranz	●	●	●	●	●	●	●
Lenkungswirkung	●	●	●	●	●	●	●
Genauigkeit	●	●	●	●	●	●	●
Materialinventar	●	●	●	●	●	●	●
Prüffähigkeit	●	●	●	●	●	●	●
Datenbereitstellung	●	●	●	●	●	●	●

Tabelle 12 Bewertungsmatrix Vereinfachungsmethoden

Wesentlich für die Einführung einer ökobilanziellen Betrachtung im Lebenszyklus muss die Erzielung einer Lenkungswirkung und die Handhabbarkeit in der Praxis sein. Darüber hinaus ist auch der Aufwand zur Datenbereitstellung zu betrachten.

Eine Lenkungswirkung ist bei zu starken Vereinfachungen und pauschalen Ansätzen nicht gewährleistet. Gleichzeitig ist auch die Anforderung an die Datenbereitstellung zu berücksichtigen. Der Aufwand entsteht hier nicht beim Bearbeiter, sondern entsteht zur Entwicklung der Methode aufgrund der bereitzustellenden Regeln und Daten. So ist beispielsweise das Variieren und Abwandeln von Modellgebäuden ein vielversprechender Ansatz. Neben der Optimierung der gebäudebezogenen Anteile könnte mit entsprechender Software zeitgleich die Ermittlung des betriebsbedingten Anteils erfolgen, was eine hohe Planungssicherheit zur Folge hätte. Allerdings wird der Aufwand für die Entwicklung entsprechender Regeln und Werkzeuge als hoch eingeschätzt. Die Methode würde grundsätzlich auch auf der Verwendung von Bauteilkatalogen aufbauen.

Es wird daher zunächst die Nutzung von Bauteilkatalogen in Kombination mit der Energiebedarfsberechnung nach DIN V 18599 empfohlen. Dieses Verfahren ist bereits erprobt, zunächst einfach zu entwickeln und anwendbar. Gleichzeitig ist die Methode Basis für die Erstellung von variablen Modellgebäuden, die perspektivisch weitere Optimierungspotenziale zulassen. Sockelbeträge werden nur ergänzend für sinnvoll gehalten für Bauelementgruppen, bei denen der Einfluss auf das Gesamtergebnis gering, eine Optimierung schwierig und gleichzeitig der Aufwand für die Erfassung hoch ist. Für das weitere Vorgehen wird vorgeschlagen, lediglich die im Rahmen der QNG-Zertifizierung bereits ermittelten Sockelbeträge für die Haustechnik weiterhin zu berücksichtigen.

Auf Basis bestehender Bauteilkataloge ist es denkbar, die Bandbreite üblicher Konstruktionen als Bauelemente bereitzustellen. Ein solcher Bauteilkatalog für den Holzbau ist zum Beispiel unter www.dataholz.eu abrufbar.

(Holzforschung Austria ohne Jahr). Hier sind insgesamt 277 geprüfte/zugelassene Bauteile in folgenden Kategorien aufgeführt:

- Aussenwand (vgl. Abb. 22)
- Innenwand
- Trennwand
- Decke / Dach
- Geschossdecke
- Decke gegen unbeheizt
- Geneigtes Dach
- Flachdach / flachgeneigtes Dach

Die Modellierung der einzelnen Bauteile ist mit einem vertretbaren Aufwand möglich (vgl. Kapitel 4.7.1). Bei einer angenommenen Bearbeitungszeit von 10 Minuten für die Modellierung eines Bauteils mit mehreren Schichten entspricht dies bei den oben erwähnten 277 unterschiedlichen Bauteilen einem Arbeitsaufwand von etwa sechs Arbeitstagen.

Um die Auswahl von Bauteilen aus einem so umfassenden Bauteilkatalog zu ermöglichen, sollte auch eine Kategorisierung und entsprechende Filtermöglichkeiten den Bearbeitungskomfort für die Ersteller der lebenszyklusbezogenen Gebäudeökobilanz deutlich erhöhen (vgl. Abb. 22).

Es ist zu diskutieren, ob und in welchem Detaillierungsgrad die Bauelemente durch die Bearbeiter individuell anpassbar sein sollen. Nachteil ist eine erhöhte Fehleranfälligkeit und ein erhöhter Prüfungsaufwand. Vorteil wäre eine erhöhte Lenkungswirkung. Das Modellgebäudeverfahren für Einfamilienhäuser ist zusätzlich denkbar, sofern die Methode breite Anwendung findet. Grundsätzlich sind die Bearbeiter jedoch der Auffassung, dass ein einheitliches Verfahren zu bevorzugen ist.

dataholz.eu Baustoffe **Bauteile** Bauteilfügungen Anwendungen

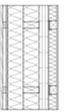
Gepüfte/zugelassene Bauteile > Aussenwand

Gültigkeitsbereich Alle Bauteile Deutschland

Filter 119 Bauteile	Konstruktion <input type="radio"/> Holzrahmen/Holztafel <input type="radio"/> Holzmassiv Fassade Putz <input type="radio"/> WDVS EPS-F <input type="radio"/> WDVS WF <input type="radio"/> WDVS WW <input type="radio"/> WDVS MW-PT Fassade Holz <input type="radio"/> hinterlüftete/belüftete Fassade <input type="radio"/> nicht hinterlüftete Fassade	Äußere Beplankung <input type="radio"/> MDF <input type="radio"/> OSB <input type="radio"/> Spanplatte <input type="radio"/> Holzschalung <input type="radio"/> Gipsfaserplatte Dämmstoff <input type="radio"/> Mineralwolle <1000°C <input type="radio"/> Mineralwolle ≥1000°C <input type="radio"/> Zellulose <input type="radio"/> Schafwolle <input type="radio"/> Holzfaser	Innere Beplankung <input type="radio"/> OSB <input type="radio"/> Spanplatte <input type="radio"/> Holzschalung <input type="radio"/> Gipsfaserplatte <input type="radio"/> Gipsplatte Installationsebene <input type="radio"/> gedämmt <input type="radio"/> ungedämmt <input type="radio"/> ohne Oberfläche Innen <input type="radio"/> Holz sichtbar <input type="radio"/> andere Oberfläche	Brandschutz von innen <input type="radio"/> REI30 <input type="radio"/> REI45 <input type="radio"/> REI60 <input type="radio"/> REI60 / K ₂ 60 <input type="radio"/> REI90 <input type="radio"/> REI90 / K ₂ 60 Brandschutz von aussen <input type="radio"/> REI30 <input type="radio"/> REI45 <input type="radio"/> REI60 <input type="radio"/> REI60 / K ₂ 60 <input type="radio"/> REI90 <input type="radio"/> REI90 / K ₂ 60	Wärmeschutz <input type="radio"/> U ≤0,15 W/(m ² K) <input type="radio"/> U 0,16–0,20 W/(m ² K) <input type="radio"/> U ≥0,21 W/(m ² K) Schallschutz <input type="radio"/> R _w ≤43 dB <input type="radio"/> R _w 44–47 dB <input type="radio"/> R _w 48–57 dB <input type="radio"/> R _w ≥58 dB
------------------------	---	---	--	---	---



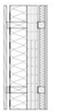
awmhh01a
3 Varianten



awmhh02a
3 Varianten



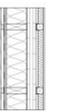
awmhh03a
3 Varianten



awmhh03b
3 Varianten



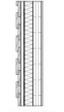
awmoh01a
5 Varianten



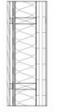
awmoh02a
4 Varianten



awmoh01a
4 Varianten



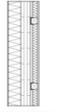
awmoh02a
5 Varianten



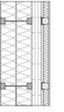
awmoh03a
7 Varianten



awmoh05a
3 Varianten



awmopi01a
8 Varianten



awmopi03a
3 Varianten

Abbildung 22 Bauteilkatalog für Außenwände im Holzbau (Quelle: Holzforschung Austria ohne Jahr)

4.7 Durchführung der Proberechnungen

Um die Erfassung der Konstruktion mit Bauteilkatalogen bezüglich der Handhabbarkeit und Lenkungswirkung zu beurteilen, wurden Proberechnungen durchgeführt und ausgewertet. Die Ergebnisse der Proberechnungen sind in Anlage 01 – 04 beigefügt.

Es war zu erwarten, dass einzelne Konstruktionen und Schichtstärken von einzelnen Bauteilen in der Regel einen eher geringen Einfluss auf das Gesamtergebnis haben. Es wurde untersucht, welchen Einfluss einzelne Bauelemente und Baustoffgruppen haben, um mögliche Vereinfachungen abzuleiten die keine zu großen Abweichungen im Gesamtergebnis zu verursachen. Folgende Anwendungsfälle wurden untersucht:

- Einfamilienhaus, Ziegel
- Einfamilienhaus, Holz
- Geschosswohnungsbau, Stahlbeton
- Geschosswohnungsbau, Holzmassiv

Genutzt wurde hierfür das kostenfrei zur Verfügung stehende Software eLCA als Online-Tool. Hier sind für wesentliche Bauelemente bereits Bauteilvorlagen enthalten (Abb. 23). Die Elemente entsprechen dem Detaillierungsgrad der 2. Ebene der Kostengruppen nach DIN 276. Sie setzen sich zusammen aus Elementen der 3. Ebene der Kostengruppe (Abb. 24), die im Folgenden als Feinelemente bezeichnet werden. In der Detailansicht können die hinterlegten Datensätze und Ökobilanzdaten nachvollzogen werden (Abb. 25 und Abb. 26). In Abb. 25 wird deutlich, dass eine Verknüpfung des Datensatzes aufgrund der unterschiedlichen Einheiten – 1 m² Dachziegel vs. 1 to Dachziegel – nicht ohne weiteres möglich ist. Hier stellt die Bereitstellung von Bauteilen, die bereits mit entsprechenden Ökobilanz-Rechenwerten verknüpft sind, eine deutliche Reduktion des Bearbeitungsaufwandes und der Fehleranfälligkeit dar.

Die Anpassung der Elemente erfolgt durch den Austausch von einzelnen Feinelementen der 3. Ebene. Auf dieser Ebene können auch Materialien geändert werden (zum Beispiel Linoleum- statt PVC-Boden) und die Schichtstärke angepasst werden. Die Nutzungsdauer einzelner Materialien ist gemäß der Tabelle Nutzungsdauern bereits hinterlegt. Es ist möglich, die Nutzungsdauer einzelner Bauteilschichten zu verändern. Hier erfolgt automatisiert eine Aufforderung zur Eingabe einer Begründung. Zur eindeutigen Identifikation der Bauteile wird folgende Bezeichnungssystematik verwendet.

Gebäudeart-Bauteil-Nr.-Bauweise-Standard

Hierfür werden folgende Abkürzungen verwendet:

Gebäudeart	Geschosswohnungsbau	GWB
	Einfamilienhaus	EFH
Bauteil	Gründung	GR
	Außenwand	AW
	Innenwand	IW
	Decke	DE
	Dach	DA
Bauweise	Stahlbeton	STB
	Mauerwerk	MW
	Holzmassivbau	HM
	Holzrahmenbau	HR
	Trockenbau	TB
Standard	Realisierte Ausführung	IST
	Ausführung unter anderem mit mittleren Bauteilstärken	MID
	Ausführung unter anderem mit erhöhten Bauteilstärken	MAX
Ausführung u. a. mit reduzierten Bauteilstärken, nachwachsenden Rohstoffen		MIN

4.7.1 Vorgehen

Für die Verifikation der Annahmen wurden zwei Modellgebäude nach tatsächlichen Daten modelliert und dann je nach Hauptbaustoff entweder als Massivbau oder Holzbau modifiziert.

Das Modellgebäude „Geschosswohnungsbau“ ist ein vorwiegend als Holzmassivbau umgesetzter Baukörper mit 16 Wohneinheiten. Es setzt sich zusammen aus zwei viergeschossigen Kuben, die durch ein Treppenhaus gekoppelt sind. Das Gebäude ist teilunterkellert. Keller und Treppenhaus sind aus Stahlbeton ausgeführt, die Geschossdecken erreichen einen ausreichenden Schallschutz als Holz-Stahlbeton-Hybriddecken.

Das Gebäude dient als Ausgangsbasis für die Untersuchung von Bauelementen in unterschiedlicher Ausführung. Hierfür wird es sowohl als Holzmassivbau und als Stahlbetonbau modelliert.

Jeweils drei Standards werden untersucht:

Als Ausgangslage wird ein „mittlerer“ Standard modelliert. Für die Prüfung der Relevanz von Abweichungen wird diesem eine günstigere Ausführung mit verringerten Bauteilmassen bzw. ökologisch günstigeren Materialien sowie eine ungünstigere Ausführung mit erhöhten Massen bzw. ökologisch ungünstigeren Materialien gegenübergestellt. Die jeweils realisierten Konstruktionen sind in der folgenden Tabelle farblich hervorgehoben.

	MIN	MID	MAX
Stahlbeton	C20/25	C25/30	C30/37
Bewehrungsanteil	2 %	3 %	4 %
Hybriddecke	Ohne Bewehrung	3 %	3 %
Dimensionierung Außenwand	ca. 10 %	Gemäß Planung	+10 %
Dachbelag	Foliendach	Kiesdach	Gründach
Fenster	Holz	Kunststoff	Aluminium
Sonnenschutz	Keiner	Kunststoff	Aluminium
Dämmung AW	Holzfaser	Mineralwolle	Polystyrol
Innenwand	Gipskarton, UK Holz	Gipskarton, UK Metall	Gipskarton, UK Metall
Bodenbeläge	Linoleum	Mehrschichtparkett	PVC

Tabelle 13 Modellierung des Ausgangsgebäudes als Holzmassivbau

	MIN	MID	MAX
Stahlbeton	C20/25	C25/30	C30/37
Bewehrungsanteil	2 %	3 %	4 %
Außenwand	18 cm STB	20 cm STB	22 cm STB
Dach	18 cm STB	20 cm STB	22 cm STB
Decken	20 cm STB	22 cm STB	24 cm STB
Dachbelag	Foliendach	Kiesdach	Gründach
Fenster	Holz	Kunststoff	Aluminium
Sonnenschutz	Keiner	Kunststoff	Aluminium
Dämmung AW	WDVS 16 cm	WDVS 24 cm	Mineralwolle 20 cm
Bekleidung	Putz	Putz	Vorsatzschale
Innenwand	Gipskarton, UK Holz	Gipskarton, UK Metall	Gipskarton, UK Metall
Bodenbeläge	Linoleum	Mehrschichtparkett	PVC

Tabelle 14 Modellierung des Ausgangsgebäudes als Stahlbetonmassivbau

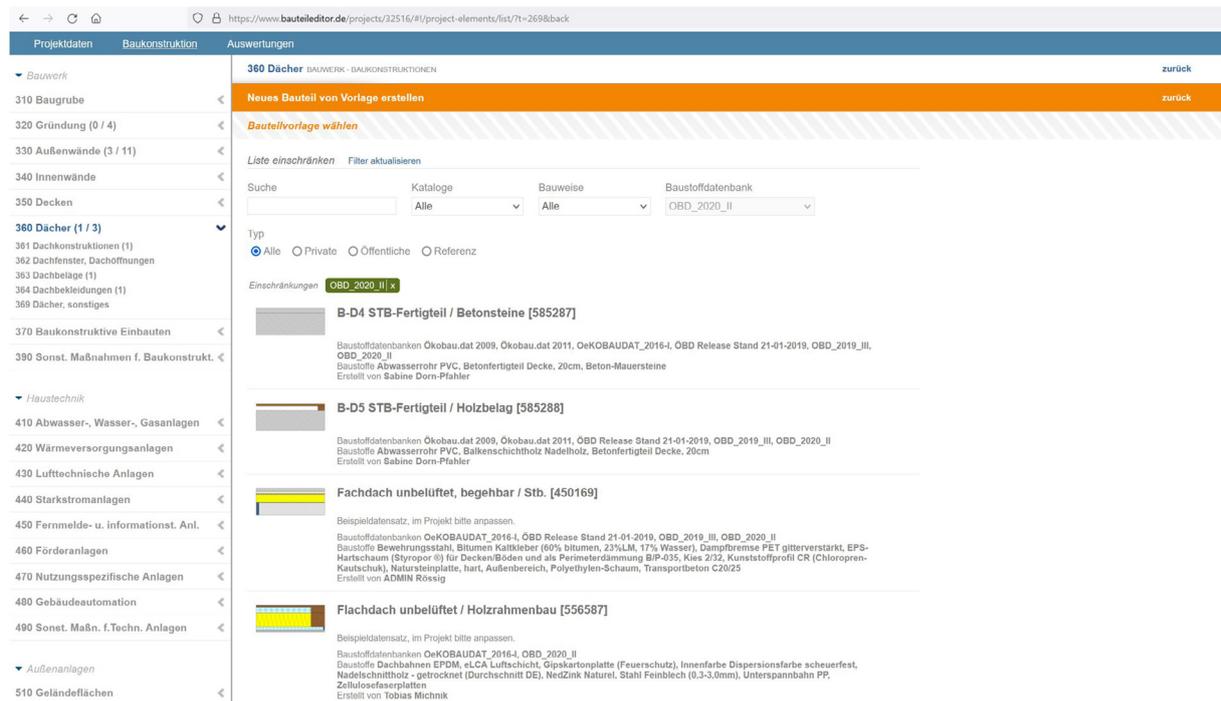


Abbildung 23 eLCA Bauteilvorlagen Dach in der Übersicht (Quelle: BBSR, Referat WB6 ohne Jahr)

Allgemein
ID: 2261463 UUID: 43df9990-98f4-4f87-8f26-fcc98ce0e2b9

Name*
Sparrendach unbelüftet / Zwischens

OZ

Beschreibung
Beispieldatensatz, im Projekt bitte anpassen.

Verbaute Menge* Bezugsgröße*
1 m²

Attribute

U-Wert R'w

BNB 4.1.4

Rückbau Trennung Verwertung

- ① Innenfarbe Dispersionsfarbe scheuerfest, 0,30mm
- ② Gipskartonplatte (Feuerschutz), 12,50mm
- ③ Gipskartonplatte (Feuerschutz), 12,50mm
- ④ PE/PP Vlies, 1,00mm
- ⑤ Schnittholz Fichte (12% Feuchte/10,7% H2O), 200,00mm
- ⑥ Mineralwolle (Schrägdach-Dämmung), 200,00mm
- ⑦ Dampfbremse PE, 1,00mm
- ⑧ Schnittholz Fichte (12% Feuchte/10,7% H2O), 30,00mm
- ⑨ Schnittholz Fichte (12% Feuchte/10,7% H2O), 30,00mm
- ⑩ Dachziegel, 30,00mm

Speichern
Löschen
Als Vorlage

Verknüpfte Bauteilkomponenten (von innen nach außen)

Bauteilkomponente (opak)	Verbaute Menge	DIN 276	Verschieben
1. GK Platte doppelt / Anstrich / Folie	1 m ²	364 Dachbekleidungen	Bearbeiten Entfernen Löschen ☰
2. Sparrendach / Dämmung / Dampfbremse	1 m ²	361 Dachkonstruktionen	Bearbeiten Entfernen Löschen ☰
3. Ziegelerdeckung / Lattung	1 m ²	363 Dachbeläge	Bearbeiten Entfernen Löschen ☰

Neue Bauteilkomponente hinzufügen

▼ Gesamteinsatz

Lebenszyklus	GWP	ODP	POCP	AP	EP	PE Ges.	PENRT	PENRM	PENRE	PERT	PERM	PERE	ADP elem.	ADP fossil
A1 - A3	5,7229	7,3558E-11	6,7822E-3	0,1111	0,0157	1,2339E3	717,7173	59,5479	658,1695	516,1694	414,2723	101,8971	0,0396	686,7670
C3	45,1393	5,9146E-15	3,2706E-4	3,4706E-3	6,0510E-4	14,4622	13,0573	-59,5479	72,6051	1,4049	-414,2723	415,6772	2,8188E-7	12,6313
C4	0,3800	2,1111E-15	1,8305E-4	2,4141E-3	2,7162E-4	6,2749	5,5469	0,0000	5,5469	0,7280	0,0000	0,7280	3,8519E-8	5,3898
Instandhaltung	8,4818	7,5263E-14	3,0308E-3	0,0393	1,7565E-3	165,1033	150,1025	0,0000	150,1025	15,0008	0,0000	15,0008	0,0396	145,1210
Gesamt	59,7241	7,3642E-11	0,0103	0,1562	0,0183	1,4197E3	886,4240	0,0000	886,4240	533,3032	0,0000	533,3032	0,0792	849,9092
D	-13,1709	-3,7802E-13	-1,0971E-3	-9,8243E-3	-1,6995E-3	-307,6494	-239,1902	0,0000	-239,1902	-68,4592	0,0000	-68,4592	-4,0673E-6	-218,4237

Masse 114,22 kg

Abbildung 24 eLCA Bauteilvorlage Sparrendach mit Schichtaufbau (Quelle: BBSR, Referat WB6 ohne Jahr)

Allgemein

Name* Ziegeldeckung / Lattung Attribute

Ziegeldeckung / Lattung U-Wert R'w

OZ

Beschreibung Lattung 30/50 BNB 4.1.4

Verbaute Menge* Bezugsgröße* 1 m²

Baustoffe bezogen auf 1 m²

Bauteilgeometrie (von innen nach außen)

Schicht	Dicke mm	Anteil%	Austausch	Bilanz	Verschieben
1. Schnittholz Fichte (12% Feuchte/10,7% H2O)	30	10,0	50	☑	Gefach Löschen Klonen
2. Schnittholz Fichte (12% Feuchte/10,7% H2O)	30	10,0	50	☑	Gefach Löschen Klonen
3. Dachziegel	30	100,0	50	☑	Gefach Löschen Klonen

Gesamteinsatz

Lebenszyklus	GWP	ODP	POCP	AP	EP	PE Ges.	PENRT	PENRM	PENRE	PERT	PERM	PERE	ADP elem.	ADP fossil
A1 - A3	18,7270	7,3283E-11	2,7149E-3	0,0248	3,9524E-3	455,5664	372,1853	0,0000	372,1853	83,3810	54,0355	29,3455	2,3509E-6	355,6822
C3	5,6961	2,6913E-15	2,5862E-4	2,8503E-3	4,8515E-4	8,1881	7,3647	0,0000	7,3647	0,8234	-54,0355	54,8589	2,3822E-7	7,1741
Instandhaltung	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Gesamt	24,4231	7,3285E-11	2,9736E-3	0,0274	4,4375E-3	463,7544	379,5500	0,0000	379,5500	84,2044	0,0000	84,2044	2,5891E-6	362,8562

Abbildung 25 eLCA Bauteilvorlage Sparrendach Schichtaufbau im Bereich Ziegel / Lattung (Quelle: BBSR, Referat WB6 ohne Jahr)

Baustoffe bezogen auf 1 m²

Bauteilgeometrie (von innen nach außen)

Schicht	Dicke mm	Anteil%	Austausch	Bilanz	Verschieben
1. Schnittholz Fichte (12% Feuchte/10,7% H2O)	30	10,0	50	☑	Gefach Löschen Klonen
2. Schnittholz Fichte (12% Feuchte/10,7% H2O)	30	10,0	50	☑	Gefach Löschen Klonen
3. Dachziegel	30	100,0	50	☑	Gefach Löschen Klonen

Dachziegel

Klassifizierung	Klassenname : Hierarchieebene ○ OEKOBAU.DAT: 1.3.10 Mineralische Baustoffe / Steine und Elemente / Dachziegel ○ IBUCategories: 02 Bauprodukte / Bedachungen / Dachziegel
Allgemeine Anmerkungen zum Datensatz	Die Dachziegelwerke Nelskamp GmbH produzieren an den Standorten Schermbeck, Gartrop und Unsleben Tondachziegel unterschiedlicher Formate und Profilierungen. In Unsleben werden die Produktartikel · Flachdach-Ziegel F 13 Classic (F13C) · Hohl-/Hohlfalz-Ziegel H13 · Doppelmuldenfalz-Ziegel D13 · Reform-Ziegel R 13 S (Verschiebeziegel)
Copyright	Ja
Eigentümer des Datensatzes	Dachziegelwerke Nelskamp GmbH
Quantitative Referenz	
Referenzfluss(flüsse)	1t Dachziegel inklusive Zubehör - 1000.0 * 1.0 kg (Masse)
Zeitliche Repräsentativität	
Datensatz gültig bis	2021

Abbildung 26 Verknüpfung zu Datensätzen im eLCA-Bauteileditor (Quelle: BBSR, Referat WB6 ohne Jahr)

Auf Basis des in eLCA vorhandenen Bauteilkatalogs wurden zwei Modellgebäude nach tatsächlichen Daten modelliert und modifiziert. Für die Bauelemente wurde zunächst ein sehr grobkörniger Ansatz gewählt und jeweils eine eher durchschnittliche und zwei davon abweichende Varianten vergleichend betrachtet.

Das Modellgebäude „Geschosswohnungsbau“ ist ein vorwiegend als Holzmassivbau umgesetzter Baukörper mit 16 Wohneinheiten. Es setzt sich zusammen aus zwei viergeschossigen Kuben, die durch ein Treppenhaus gekoppelt sind. Das Gebäude ist teilunterkellert. Keller und Treppenhaus sind aus Stahlbeton ausgeführt, die Geschossdecken erreichen einen ausreichenden Schallschutz als Holz-Stahlbeton-Hybriddecken. Das Gebäude dient als Ausgangsbasis für die Untersuchung von Bauelementen, die in Material und Schichtstärke variieren. Hierfür wurde es sowohl als Holzmassivbau und als Stahlbetonbau modelliert. Bei dem modellierten Einfamilienhaus lagen die Unterlagen der Genehmigungsplanung inklusive der Energiebedarfsberechnung vor. Das Gebäude wurde als Holzrahmenbau und in Ziegelbauweise modelliert. Die Erfassung des Gebäudes wurde auch zeitlich erfasst und ausgewertet.

4.7.2 Zeitlicher Aufwand

Die Erfassung der unterschiedlichen Bauteile mit Hilfe des Bauteilkatalogs ist in der Regel schnell und problemlos möglich. Liegen für komplexere Bauteile keine verwendbaren Vorlagen vor, können diese selbst modelliert werden. Hier besteht im Unterschied zur Kostenberechnung der Bedarf an Kenntnis der verwendeten Baustoffe, der Maße der Bauteilschichten und ggf. auch der Flächengewichte.

Die beispielhaft erfassten Netto-Bearbeitungszeiten sind in Tab. 15 dargestellt. Es wird deutlich, dass die Anpassung bei geeigneten Bauteilvorlagen in wenigen Minuten erfolgen kann, bei fehlenden Vorlagen der Aufwand jedoch deutlich höher liegt. Insbesondere, wenn zusätzlich Mengenangaben zu Bauteilschichten und verwendeten Baustoffen recherchiert werden müssen, wirkt sich das erheblich auf den Aufwand der Datenerfassung aus. Im Fall der in Tab. 15 dargestellten Haustür wurde daher nur eine grobe Abschätzung als Grundlage sowie vorhandene Bauteile ausgewählt. Dennoch erforderte diese Abschätzung und die Abbildung mit dem Fensterassistenten von eLCA etwa 15 Minuten. Eine detaillierte Abbildung würde in keinem vertretbaren Aufwand zum Ergebnis mehr stehen.

Bei der Erfassung der Fenster wurden für das Einfamilienhaus zwei unterschiedliche Ansätze gewählt. In dem gewählten Beispiel sind 10 unterschiedliche Fenstertypen vorhanden. Diese wurden zunächst detailliert mit dem in eLCA zur Verfügung gestellten Fensterassistenten modelliert, der zeitliche Umfang für die Erstellung des Grundtyps und die darauf aufbauende Erstellung der übrigen Fenstertypen umfasste etwa 20 Minuten. Die Erfassung der Fensterfläche und Abbildung mit dem generischen Bauteil „m² Fenster“ dagegen nur etwa 2 Minuten.

Bearbeitungsschritt	Minuten
Anpassung Makroelement	04:00
Anpassung Feinelement	02:00
Modellierung Bauteil (Haustür)	15:00
Fenster (Typ 1)	05:00
Fenster (Typ 2–10)	15:00
Fenster (Fläche gesamt)	02:00

Tabelle 15 Netto-Bearbeitungszeiten der Bauteilmodellierung

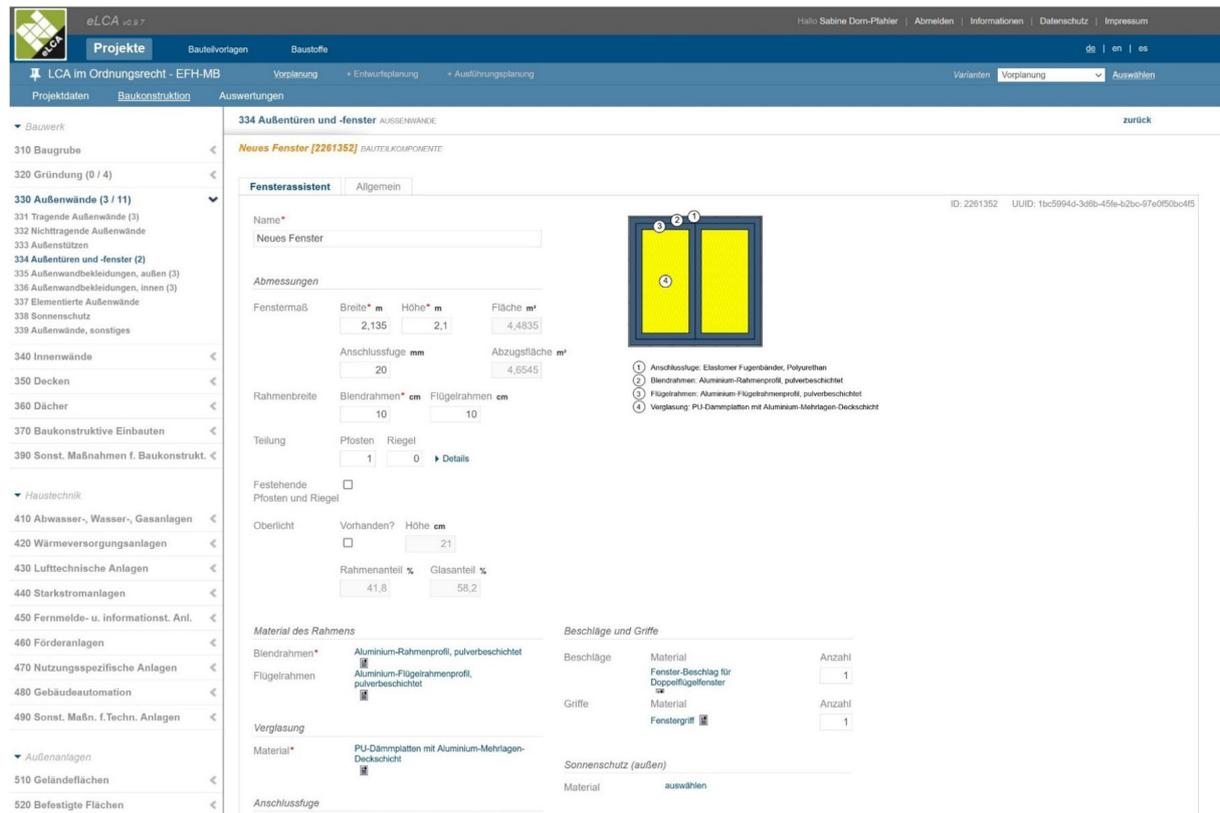


Abbildung 27 Eigene Modellierung Haustür mit dem Fensterassistenten in eLCA (Quelle: BBSR, Referat WB6 ohne Jahr)

Insgesamt wurden für die Abbildung des Geschosswohnungsbaus 20 Makroelemente mit 65 Feinelementen und 178 Datensätzen verwendet. Die Netto-Arbeitszeit für die Eingabe in eLCA liegt damit bei etwa zwei Stunden. In der Praxis wird im Rahmen einer Nachhaltigkeitszertifizierung für die Ermittlung der Umweltwirkungen eines wenig komplexen Projektes ein Zeitraum von etwa 3–5 Personentagen veranschlagt. Ein wesentlicher Teil des Zeitaufwandes ergibt sich aus:

- Der Erfassung der Bauteilflächen, abhängig von den zur Verfügung gestellten Daten
- Der Modellierung von komplexeren Bauteilen bei nicht vorhandenen Vorlagen (Türen, komplexe Fassadenaufbauten, Balkone etc.) inklusive der Recherche und Abschätzung von Massen und Mengen
- Auswahl und Begründung von Ersatzannahmen bei fehlenden Datensätzen (z. B. Parkettkleber)
- Dem Austausch mit dem Planungsteam, insbesondere Objektplaner und Energieberater
- Der Aufbereitung der Nachweisunterlagen
- Der Erstellung eines Berichtes mit den notwendigen Anlagen
- Dem ggf. notwendigen Austausch mit der Konformitätsprüfungsstelle

Zusätzlich erfolgen im Rahmen der Nachhaltigkeitszertifizierung in der Regel die Ermittlung zu unterschiedlichen Planungsphasen und Variantenuntersuchungen, um das Gesamtergebnis zu optimieren, die allerdings in dem oben genannten zeitlichen Rahmen nicht berücksichtigt sind.

4.7.3 Umweltwirkungen

Anhand der durchgeführten Berechnungen wurden die Umweltwirkungen der Konstruktion beispielhaft auf unterschiedlichen Ebenen untersucht.

Im Geschosswohnungsbau zeigt sich, dass innerhalb der betrachteten Bauweise eine höhere Varianz auftreten kann als durch die Wahl der Bauweise selbst (Abb. 28 und Abb. 29). Innerhalb der jeweils betrachteten Bauweise wurden u. a. die Festigkeitsklasse des Betons, der Bewehrungsanteil, aber auch Bodenbeläge und Dachdeckung variiert. Neben der Bauweise sind also andere Faktoren ursächlich für gravierende Unterschiede in den Ergebnissen. Die Bandbreite bei den untersuchten Holzbauten liegt bei ca. 5,7–ca. 9,5 kg CO₂-Äqv./m², in der Modellierung als Stahlbeton-Massivbau bei etwa 6,3–11,9 kg CO₂-Äqv./m². In Relation gesetzt zu den Anforderungen des QNG-Plus Standards entspricht dies etwa einem Anteil an den zulässigen Treibhausgasemissionen von 20–40%.

Der wesentliche Unterschied der Bauweisen bei der Bewertung des Treibhausgaspotenzials ergibt sich durch die Phasenverschiebung: Wird bei dem betrachteten Stahlbeton-Massivbau der Großteil der Treibhausgasemissionen bei der Herstellung der verwendeten Baustoffe verursacht, entstehen bei dem betrachteten Holzmassivbau die Treibhausgasemissionen erst am Ende der Nutzungsdauer. Angesetzt wird hier die thermische Verwertung nach 50 Jahren ohne Berücksichtigung des Substitutionspotenzials anderer Brennstoffe (Modul D1).

In Schweden wird derzeit ein Sonderweg verfolgt und nur die Herstellungsphase berücksichtigt. Dies macht die Effekte des Holzbaus deutlich und stellt gleichzeitig eine Vereinfachung dar, da weder Nutzungsdauer noch End-of-Life berücksichtigt werden. Diese Herangehensweise lässt jedoch die Vorteile der Wahl von langlebigen Materialien unbeachtet. Dabei beträgt der Anteil der Instandsetzung im Lebenszyklus etwa 20% des Treibhausgaspotenzials. Sollen die Wirkungen des Holzbaus in der Bilanzierung deutlicher gemacht werden, wäre denkbar, nur die Entsorgung (Modul C3 und C4) aus der Betrachtung auszunehmen. Dies wäre begründbar durch die nicht prognostizierbare tatsächliche Nutzungsdauer des Gebäudes, sowie der nicht prognostizierbaren tatsächlichen Entsorgungswege. In der Lebenszykluskostenanalyse wird dieser Aspekt bereits heute ausgeklammert. Die fehlende Prognostizierbarkeit ist in der angewandten Ökobilanzierung auch der Dynamisierung von Rechenwerten geschuldet, die derzeit noch ungelöst ist. Je weiter eine Ersatzmaßnahme in der Zukunft liegt, umso deutlicher werden sich die zugrunde liegenden Prozesse in ihren Umweltwirkungen unterscheiden. Alternativ könnte die Entsorgung als stoffliches Recycling bilanziert werden und eine Verknüpfung mit entsprechenden Datensätzen erfolgen. Es wäre möglich, zusätzlich den Carbon Content auszuweisen.

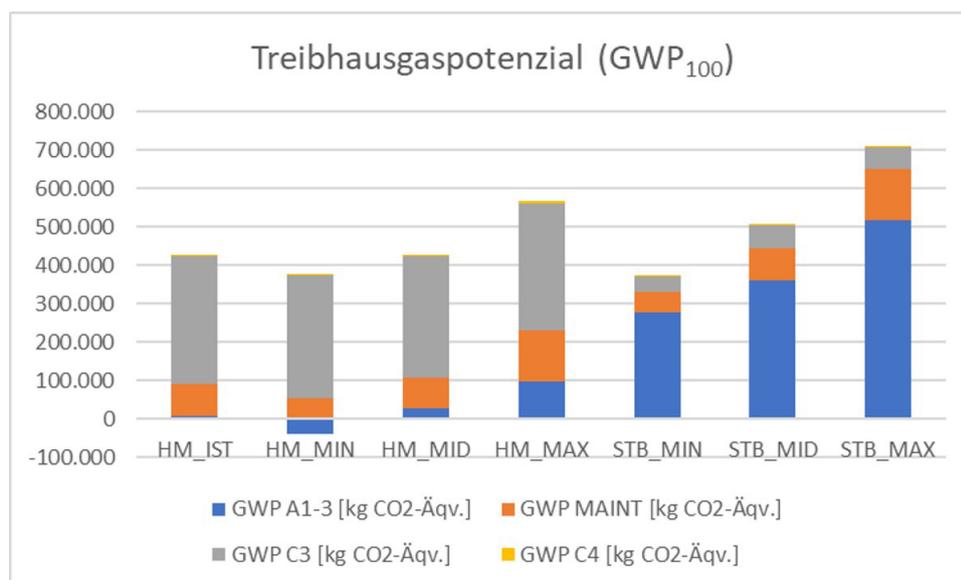


Abbildung 28 Treibhauspotenzial von Ausführungsvarianten im Geschosswohnungsbau (Quelle: eigene Darstellung)

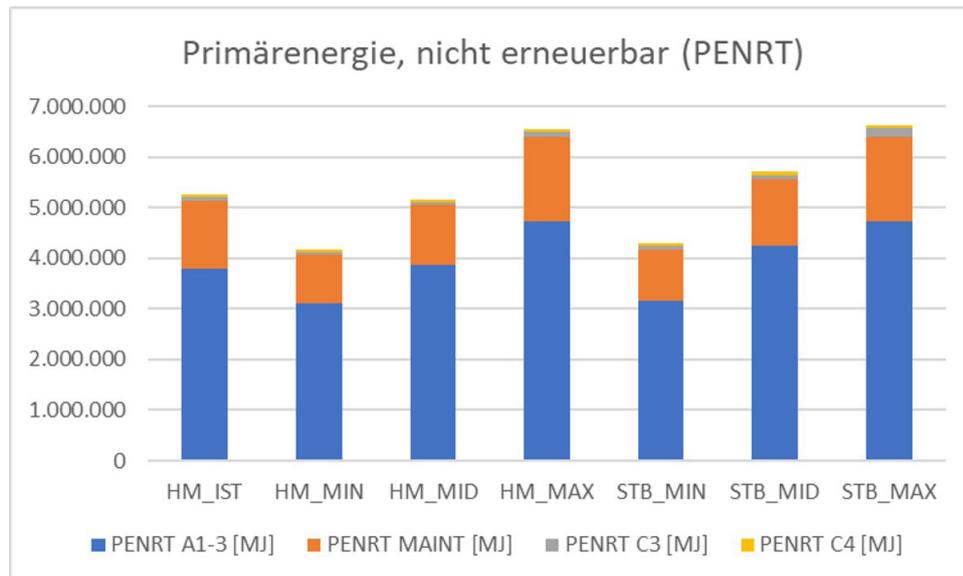


Abbildung 29 Primärenergiebedarf nicht erneuerbar von Ausführungsvarianten im Geschosswohnungsbau (Quelle: eigene Darstellung)

Für Überlegungen zu möglichen Vereinfachungen wurde neben der Untersuchung der Umweltwirkungen der Gebäude auch eine Analyse der Umweltwirkungen auf Baustoffebene durchgeführt. Es zeigt sich, dass in allen Beispielen – auch im Holzbau – der verwendete Stahlbeton von den verwendeten Baustoffen den höchsten Einfluss hat – in der Höhe, jedoch nicht grundsätzlich abhängig der verwendeten Druckfestigkeitsklasse und Bewehrungsanteil. In der Variante 1 verursacht der verwendete Stahlbeton ca. 1,69 kg CO₂-Äqv./m² (Abb. 30), in der Variante 3 ca. 3,83 kg CO₂-Äqv./m² (Abb. 31), (entspricht einem Anteil der Umweltwirkungen der Konstruktion von 30 bzw. 40 %).

Für die übrigen Baustoffe gibt es keine eindeutige Ableitung der Relevanz. Grundsätzlich relevant sind die Dämmstoffe sowie die tragenden Holzstrukturen. Im Detail können sich die Wirkungen aber stark unterscheiden, so fällt auch der bei Variante 3a verwendete Bodenbelag ähnlich ins Gewicht wie der verwendete Bewehrungsstahl, auch die verwendeten Fensterprofile oder Folien können relevante Auswirkungen haben (Abb. 31).

Filter

Indikator Anzahl Baustoffe Sortierung nach Wirkung
 Absteigend
 Aufsteigend

#	Baustoff	Indikator	Gesamt / m ² _{NGFa}	Einheit
1	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	GWP	1,0938683819	kg CO ₂ -Äqv.
2	Bewehrungsstahl	GWP	0,5980038853	kg CO ₂ -Äqv.
3	XPS mit halogenfreien Treibmitteln	GWP	0,5824084456	kg CO ₂ -Äqv.
4	Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)	GWP	0,4379856555	kg CO ₂ -Äqv.
5	Brettschichtholz - Standardformen (Durchschnitt DE)	GWP	0,4197862315	kg CO ₂ -Äqv.
6	Brettsperrholz (Durchschnitt DE)	GWP	0,3075096581	kg CO ₂ -Äqv.
7	Estrichmörtel-Zementestrich	GWP	0,3041057125	kg CO ₂ -Äqv.
8	Dreifachverglasung	GWP	0,2911023063	kg CO ₂ -Äqv.
9	Mineralwolle (Flachdach-Dämmung)	GWP	0,1578831479	kg CO ₂ -Äqv.
10	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 30/37	GWP	0,1574590470	kg CO ₂ -Äqv.
11	Fugendichtungsbänder Butyl	GWP	0,1573769204	kg CO ₂ -Äqv.
12	Gipskartonplatte (imprägniert)	GWP	0,1251587199	kg CO ₂ -Äqv.
13	Zementestrich	GWP	0,1213706289	kg CO ₂ -Äqv.
14	Gipsputz (Gips)	GWP	0,1113927591	kg CO ₂ -Äqv.
15	Dampfbremse PE	GWP	0,0888119752	kg CO ₂ -Äqv.
16	Innenfarbe Dispersionsfarbe scheuerfest	GWP	0,0860278913	kg CO ₂ -Äqv.
17	Mineralwolle-Dämmstoff im hohen Rohdichtebereich	GWP	0,0783964964	kg CO ₂ -Äqv.
18	Holz-Flügelrahmen	GWP	0,0594629259	kg CO ₂ -Äqv.
19	Holz-Blendrahmen	GWP	0,0523325663	kg CO ₂ -Äqv.
20	Stahlprofil	GWP	0,0471004948	kg CO ₂ -Äqv.

Abbildung 30 eLCA-Baustoffranking Variante 1a (Quelle: BBSR, eLCA ohne Jahr)

#	Baustoff	Indikator	Gesamt / m ² _{NGFa}	Einheit
1	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 30/37	GWP	1,5528041041	kg CO ₂ -Äqv.
2	Bewehrungsstahl	GWP	1,3850673517	kg CO ₂ -Äqv.
3	PVC Fußbodenbelag	GWP	1,1925640321	kg CO ₂ -Äqv.
4	XPS mit halogenfreien Treibmitteln	GWP	1,1820535443	kg CO ₂ -Äqv.
5	Pfosten/Riegelsystem aus Aluminium	GWP	0,5986372016	kg CO ₂ -Äqv.
6	Folie für Gründach	GWP	0,4817790603	kg CO ₂ -Äqv.
7	Brettschichtholz - Standardformen (Durchschnitt DE)	GWP	0,4197862315	kg CO ₂ -Äqv.
8	Brettsperrholz (Durchschnitt DE)	GWP	0,3510450875	kg CO ₂ -Äqv.
9	Sonnenschutzlamellen Aluminium	GWP	0,3365378922	kg CO ₂ -Äqv.
10	Estrichmörtel-Zementestrich	GWP	0,3041057125	kg CO ₂ -Äqv.
11	Dreifachverglasung	GWP	0,2911023063	kg CO ₂ -Äqv.
12	Mineralwolle (Flachdach-Dämmung)	GWP	0,1578831479	kg CO ₂ -Äqv.
13	Fugendichtungsbänder Butyl	GWP	0,1573769204	kg CO ₂ -Äqv.
14	Gipskartonplatte (imprägniert)	GWP	0,1251587199	kg CO ₂ -Äqv.
15	Zementestrich	GWP	0,1213706289	kg CO ₂ -Äqv.
16	Gipsputz (Gips)	GWP	0,1113927591	kg CO ₂ -Äqv.
17	Dampfbremse PE	GWP	0,0888119752	kg CO ₂ -Äqv.
18	Innenfarbe Dispersionsfarbe scheuerfest	GWP	0,0860278913	kg CO ₂ -Äqv.
19	Mineralwolle-Dämmstoff im hohen Rohdichtebereich	GWP	0,0783964964	kg CO ₂ -Äqv.
20	Stahl Feinblech (20µm bandverzinkt)	GWP	0,0753710354	kg CO ₂ -Äqv.

Abbildung 31 eLCA Baustoffranking Variante 3a (Quelle: BBSR, eLCA ohne Jahr)

4.7.4 Ansätze zur Reduktion des Bearbeitungsaufwandes

Auf Basis der erläuterten Ergebnisse sehen sich die Bearbeiter hinsichtlich der Vorauswahl von Vereinfachungsansätzen weitgehend bestätigt. Bei einem entsprechend vorkonfektionierten Bauteilkatalog ist der eigentliche Aufwand für die Bearbeitung als gering zu betrachten.

Ein Aufwand entsteht in der Praxis durch eine zusätzliche Erfassung von Bauteilgeometrie und Flächen. Die notwendigen Daten liegen jedoch aufgrund der Kostenermittlung in der Regel bereits frühzeitig auf Ebene der Feinelemente vor. Der Bauteilkatalog muss für diese Feinelemente entsprechende Vorlagen vorhalten (zum Beispiel Tür, Balkon etc.). Es ist zu erwarten, dass mit Etablierung der ökobilanziellen Betrachtung im Ordnungsrecht Softwarehersteller (BIM) und Planer geeignete und effiziente Methoden entwickeln, um die ohnehin vorhandenen Daten unmittelbar auch für die Ökobilanzierung zu nutzen.

Darüber hinaus ist ein Format zu entwickeln, in dem die Ergebnisse ausgegeben werden müssen und dies entsprechend in vorhandene oder zu entwickelnde Software zu integrieren. So ist es bereits möglich, sich sehr umfangreiche Daten aus eLCA als PDF ausgeben zu lassen bzw. Projekte auch als csv-Datei zu exportieren. Die Auswahl der einzelnen Dokumente erfolgt jedoch händisch. Einige Nachbearbeitungen sind nicht in eLCA möglich, sondern müssen in der csv-Datei händisch nachgetragen werden (zum Beispiel Aufschlag vereinfachtes Verfahren) – die Ergebnisse entsprechen somit nicht mehr den aus eLCA exportierten Ergebnissen. Dieser umfangreiche Workaround erschwert in der Praxis derzeit noch eine effizientere Bearbeitung, ist aber durch entsprechende Konfiguration von verwendbarer Software einfach zu eliminieren.

Grundsätzlich ist es denkbar, für eine Übergangszeit einen Sockelbetrag für die Konstruktion festzusetzen. Wie in 3.1.3 beschrieben, ist dieses Verfahren jedoch mit vielen Nachteilen verbunden. Es ist relativ ungenau, bietet keine unmittelbaren Optimierungsmöglichkeiten und nicht die Möglichkeit, in Richtung Ressourcenpass bzw. Materialinventar anzuknüpfen. Der unbestreitbare Vorteil wäre jedoch, die unmittelbare Anwendbarkeit eines einfachen Bezugswertes auf Basis sehr frühzeitig ermittelter Flächen (zum Beispiel BGF) und damit eine hohe Rechtssicherheit (Abb. 32). Der vorgegebene Wert ist (analog zur Philosophie des GEG) ungünstig zu wählen, so dass eine detaillierte Ermittlung auf Basis von Bauteilkatalogen in der Regel eine Verbesserung der Werte bedeutet. Gleichzeitig ist die detaillierte Ermittlung umso sinnvoller und zielführender, je mehr Planungsleistungen in die Reduktion der Umweltwirkungen durch die Konstruktion investiert würde. Die Lenkungswirkung bestünde damit hin zu einer detaillierteren Erfassung und Optimierung des Gebäudes.

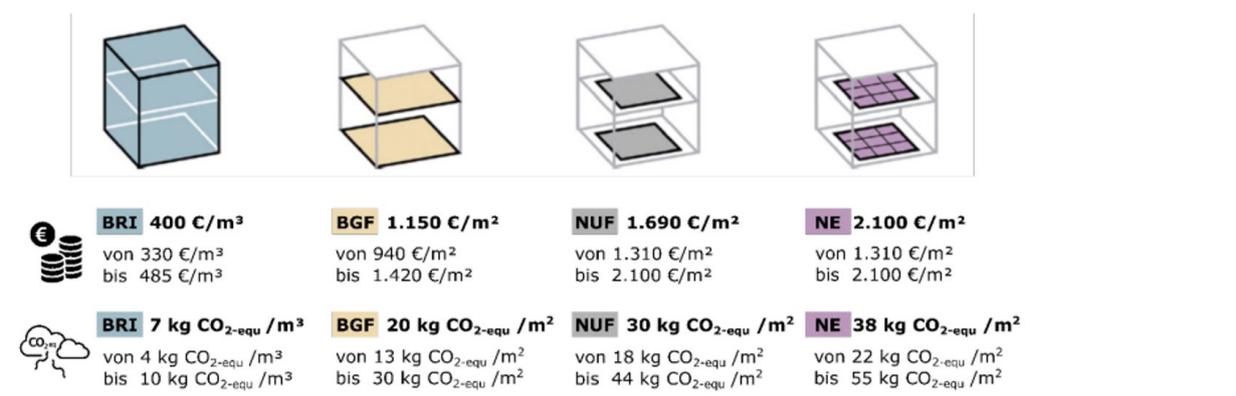


Abbildung 32 Kostenkennwerte mit unterschiedlichen Bezugsgrößen für MFH (fiktives Beispiel nach BKI2020) (Quelle: BBSR 2021b)

Ein wesentlicher Aufwand bei der angewandten Ökobilanzierung steht in direktem Zusammenhang mit der Detailtiefe der Erfassung. Hinsichtlich der Bauteilschichten, Hilfsstoffe und Baustoffmassen stellen vorkonfigurierten Makro- oder Feinelemente eine ganz wesentliche Vereinfachung dar. Zusätzlich kann eine Reduktion der zu modellierenden Bauteilelemente eine weitere Vereinfachung bedeuten.

Untersucht wurde dies u. a. anhand der vorhandenen Außenwandflächen. Im vorliegenden Projekt „Einfamilienhaus“ sind drei unterschiedliche Außenwandtypen vorhanden:



Abbildung 33 eLCA-Außenwandtypen Einfamilienhaus (Quelle: BBSR, eLCA ohne Jahr)

Hierfür wurden drei Bauteile angelegt, der Zeitaufwand beträgt hierfür netto etwa 10 Minuten. Zusätzlich ist ggf. der Aufwand für die detailliertere Flächenerfassung zu berücksichtigen. Dabei entsprechen 88 % der Fläche dem Regelbauteil, zwei weitere Außenwandtypen sind deutlich untergeordnet. Wird nur ein Bauteil angelegt, reduziert sich die Arbeitszeit deutlich. Es wird vorgeschlagen, dass die Gesamtfläche herangezogen wird und gleichzeitig Abschneidekriterien festgelegt werden. So könnten Bauteile mit weniger als 10 % der Fläche den Regelbauteilen zugeschlagen werden, insgesamt aber nicht mehr als 20 % der jeweiligen Bauteile. Für den Nachweis müssten entsprechende Funktionen in eine Software integriert werden.

Bauteil	Fläche	Masse	GWPR100	Anteil Fläche	Anteil Masse	Anteil GWP
AW1	164,28 m ²	16.498 kg	1,38E+04	88 %	82 %	90 %
AW2	16,85 m ²	1.694 kg	1,10E+03	9 %	8 %	7 %
AW3	5,00 m ²	2.008 kg	4,99E+02	3 %	10 %	3 %
Summe AW1-AW3	186,13 m ²	20.200 kg	1,54E+04	100 %	100 %	100 %
AW1 für Gesamtfläche	186,13 m ²	18.692 kg	1,56E+04	100 %	93 %	102 %

Tabelle 16 Umweltwirkungen unterschiedlicher Außenwandaufbauten

Für die Fenster wurde der Aufwand der individuellen Ermittlung für einzelne Fenster dem Aufwand gegenüber der Erfassung mit einem vereinfachten Ansatz „Umweltwirkungen Fenster pro Quadratmeter“ gegenübergestellt (Tab. 17). Verwendet wurde hierfür die Vorlage „m²_Fenster / Isoglas 2-Scheiben / Alurahmen [11321]“ und das Rahmenmaterial angepasst. Die Abweichungen sind hierbei sehr groß, was den Rückschluss zulässt, dass diese nicht mit ausreichender Genauigkeit modelliert wurde. Gleichzeitig wird anhand der Ergebnisse deutlich, dass der Flächenanteil in einem sehr eindeutigen Verhältnis zu den Treibhausgasemissionen steht. Wird Typ 1 (Fenster mit deutlichen Abweichungen) flächenbezogen für die Ermittlung genutzt, entspricht das Ergebnis zu etwa 90 % der detaillierten Ermittlung. Ein flächenbezogener Rechenwert für unterschiedliche Fenstertypen ist daher als eine Vereinfachung denkbar.

Bauteil	Fläche	Masse	GWPR100	Anteil Fläche	Anteil Masse	Anteil GWP
Holzfenster Typ 1	7,13 m ²	223 kg	1,10E+03	17 %	16 %	15 %
Holzfenster Typ 2	4,54 m ²	146 kg	7,05E+02	11 %	10 %	9 %
Holzfenster Typ 3	8,34 m ²	279 kg	1,46E+03	19 %	19 %	19 %
Holzfenster Typ 4	1,05 m ²	37 kg	2,16E+02	2 %	3 %	3 %
Holzfenster Typ 5	4,59 m ²	162 kg	9,26E+02	11 %	11 %	12 %
Holzfenster Typ 6	2,79 m ²	96 kg	5,32E+02	6 %	7 %	7 %
Holzfenster Typ 7	6,43 m ²	211 kg	1,05E+03	15 %	15 %	14 %
Holzfenster Typ 8	2,53 m ²	84 kg	4,30E+02	6 %	6 %	6 %
Holzfenster Typ 9	3,81 m ²	128 kg	6,76E+02	9 %	9 %	9 %
Holzfenster Typ 10	1,92 m ²	68 kg	4,03E+02	4 %	5 %	5 %
Summe Typ 1–10	43,12 m ²	1.434 kg	7,50E+03	100 %	100 %	100 %
Fenster Typ 1– flächenbezogen	43,12 m ²	1.348 kg	6,68E+03	100 %	94 %	89 %
Generischer Daten- satz	44,41 m ²	183 kg	2,72E+03	103 %	13 %	36 %

Tabelle 17 Ermittelte Umweltwirkungen der Fenster

Es ist ebenfalls möglich, einzelne Bauteile oder Bauteilgruppen zu vernachlässigen. Dies kann beispielsweise für Innentüren und Haustüren erfolgen. Der Zeitgewinn ist jedoch bei Vorliegen entsprechender Bauelemente gering. Der Nutzen der Bilanzierung für die Ermittlung der THG-Emissionen ist zwar grundsätzlich gering, die Erfassung im Sinne eines Materialinventars aus Sicht der Bearbeiter aber zumutbar. Für komplexere Bauteile wie beispielsweise Balkone sollten Konfigurationshilfen entwickelt werden, bei denen grundlegende geometrische Eigenschaften und Materialangaben für die Abbildung ausreichen (analog zu Fensterassistenten).

5 Empfehlungen für das weitere Vorgehen

Nachstehend werden – im Sinne einer Zusammenfassung – Empfehlungen für das weitere Vorgehen unterbreitet. Es wird jeweils dargestellt, ob sie allgemeiner Natur sind oder ob sie sich auf Wohn- bzw. Nichtwohngebäude und dabei wiederum auf Neubau- bzw. Umbau- und Modernisierungsmaßnahmen beziehen.

5.1 Allgemeine Handlungsempfehlungen

5.1.1 Lebenszyklusbetrachtungen in das Ordnungsrecht integrieren

Aus Sicht der Bearbeiter dieser Studie besteht ein politisches Interesse an einem Übergang von der Erfassung und Bewertung des Energieaufwands in der Betriebs- und Nutzungsphase von Gebäuden hin zur vollständigen Erfassung und Berücksichtigung von Energieaufwand, Ressourceninanspruchnahme und Treibhausgasemissionen im vollständigen Lebenszyklus von kompletten Bauwerken innerhalb definierter Systemgrenzen im Ordnungsrecht. Dieses wird u. a. abgeleitet aus den Zielen des Klimaschutzes und der Ressourcenschonung im Kontext der Prinzipien einer nachhaltigen Entwicklung. Vermieden werden muss insbesondere, dass eine Verschärfung der Anforderungen an die Energieeffizienz im Betrieb zu einer Verschiebung von Wirkungen und Lasten in bisher nicht berücksichtigte Lebenszyklusphasen und bisher nicht betrachtete Umweltwirkungen führen kann²². Gleichzeitig gilt es, sämtliche Einspar- und Minderungspotenziale im Lebenszyklus von Bauwerken zu erschließen. Dies folgt dem Konzept eines sektorübergreifenden Ansatzes.

Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz in Betrieb und Nutzung sind weiterhin unverzichtbar. Die Anforderungen des jeweiligen GEGs stellen hierfür eine Mindestanforderung dar, bei einer Betrachtung des vollständigen Lebenszyklus können sie als Nebenanforderung interpretiert werden. Es ist angemessen, für die weitere Verbesserung der Energieeffizienz in Betrieb und Nutzung einen finanziellen und ökologischen Aufwand zu treiben. Neben der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen ist dabei jedoch auch die ökologische Vorteilhaftigkeit von Bedeutung. Ein Mehraufwand bei Herstellung, Errichtung, Erhalt und bei späterem Rückbau und der Aufbereitung muss in einem angemessenen Verhältnis zur Entlastung bei Betrieb und Nutzung stehen. Aus ökologischer Sicht ist zu beachten, dass ein Erstaufwand an Treibhausgasemissionen sofort zu Lasten des noch verbleibenden Budgets geht, das aus den planetaren Grenzen abgeleitet wird. Nicht immer ist eine Verbesserung im Betrieb mit einer Erhöhung des Aufwands bei Errichtung und Erhalt verbunden. Anzustreben sind Lösungen, die sowohl bei Betrieb und Nutzung als auch im gebäudebezogenen Teil zu einer Reduzierung von Umweltbelastungen und Ressourceninanspruchnahme beitragen.

Vor diesem Hintergrund wird eine Einführung von Lebenszyklusbetrachtungen in das Ordnungsrecht empfohlen. In Anbetracht der politischen Ziele, der Notwendigkeit sektorübergreifenden Handelns und der Dringlichkeit der Begrenzung des Klimawandels sollte dies im Sinne der Ausschöpfung aller Möglichkeiten möglichst rasch erfolgen.

5.1.2 Angewandte Ökobilanzierung als Bewertungsmethode nutzen

Mit der angewandten Ökobilanzierung steht für die Erfassung der Energie- und Stoffströme (unter anderem Primärenergie, nicht erneuerbar, stellvertretend für Energieträger) und der Wirkungen auf die Umwelt (Treib-

²² Es wird im Kontext des Risikos von Nebenwirkungen und der Verschiebung von Belastungen in andere Wirkungsbereiche empfohlen zu überdenken, ob und welche Aspekte zusätzlich zum Aufwand an Primärenergie (nicht erneuerbar und erneuerbar) und zu den Treibhausgasemissionen in entsprechende Betrachtungen einer ökobilanziellen Bewertung einbezogen werden sollten. Möglich sind unter anderem Kohlenstoffgehalt in kg C, radioaktiver Abfall (zur Berücksichtigung der Kernenergie), Emission von Feinstaub (unter anderem zur Berücksichtigung von Biomasse beim Heizen), Emission von F-Gasen (Berücksichtigung der Klimaverträglichkeit von Kältemitteln).

hausgasemissionen als Beitrag zur globalen Erwärmung) ein geeignetes Instrument auf wissenschaftlicher Grundlage zur Verfügung. Die angewandte Ökobilanzierung dient der Erfassung und Bewertung der Energie- und Stoffströme sowie resultierender Wirkungen auf die globale Umwelt inklusive der Verknappung primärer Rohstoffe im Lebenszyklus von Gebäuden. Unterstützt wird die Erfüllung von Aufgaben der gezielten Beeinflussung der Energie- und Stoffströme sowie von Wirkungen auf die globale Umwelt in der Planung, der Überprüfung und Nachweisführung der Einhaltung von Vorgaben zur Reduzierung von Energie- und Stoffströmen sowie unerwünschter Wirkungen auf die globale Umwelt sowie der Kommunikation „verborgener“ Merkmale²³, also nicht visuell erkennbarer Qualitäten, gegenüber Dritten. Dazu zählt die Angabe der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus von Gebäuden, die bereits bei Finanzierungs- (Taxonomy) und Förderentscheidungen (KfW), bei der Nachhaltigkeitsbewertung sowie künftig ggf. als Angabe im Energieausweis eine Rolle spielt.

Es wird im Grundsatz empfohlen, die angewandte Ökobilanzierung als Instrument zur Lebenszyklusanalyse anzuwenden. Die angewandte Ökobilanzierung soll sich dabei an Regeln und Systemgrenzen orientieren, die für Gebäude entwickelt wurden (unter anderem DIN EN 15643, künftige DIN EN 15978-1, QNG).

5.1.3 Bedeutung gebäudebedingter „grauer“ Anteile erkennen

Die gebäudebedingten „grauen“ Anteile einer Ökobilanz liegen bei energieeffizienten Neubauten bei ca. 50% und werden bei Gebäuden, die in der Betriebsphase eine ausgeglichene Bilanz der Treibhausgasemissionen erreichen, 100% der (verbleibenden) Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus verursachen. Eine Verbesserung der energetischen Qualität in der Betriebsphase führt bisher in der Regel zum Anstieg bei Energieaufwand und Treibhausgasemissionen für Herstellung, Errichtung, Erhalt, Aufbereitung/Entsorgung (bei großen Bandbreiten). Eine Verschärfung von Anforderungen an die energetische Qualität in der Betriebsphase ohne gleichzeitige Betrachtung der grauen Energie und der grauen Emissionen birgt die Gefahr von Fehlanreizen/Fehlentscheidungen bis hin zur Umkehr des Trends der ökologischen Vorteilhaftigkeit. Gleichzeitig haben sich Optimierungsbemühungen im Entwurf bislang auf die Betriebsphase konzentriert. Es ist davon auszugehen, dass sich bei der Nutzung der angewandten Ökobilanzierung in der Planung von Gebäuden weitere Potenziale zur Reduktion von Ressourceninanspruchnahme und Umweltwirkungen aktivieren lassen.

5.1.4 Neubau- und Bestand: bei allen Gebäude- und Nutzungsarten berücksichtigen

Die Forderung nach einer ökobilanziellen Bewertung des Lebenszyklus von Gebäuden ist ein folgerichtiger Schritt. Dies sollte aus Sicht der Bearbeiter dieser Studie im Grundsatz für Neubau- und Bestandsmaßnahmen bei sämtlichen Gebäude- und Nutzungsarten so umgesetzt und im Minimum durch Anforderungen zur Begrenzung des Aufwandes an Primärenergie, nicht erneuerbar sowie der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus ergänzt werden. Ein Stufenplan für unterschiedliche Gebäude- und Nutzungsarten ist denkbar und kann sich an deren Bedeutung und Marktanteilen orientieren. Priorität haben Wohn- und Bürogebäude. Es wird empfohlen, je Gebäude- und Nutzungsart die Anforderungen an Neubau- und Bestandsmaßnahmen im Paket zu erarbeiten und zu veröffentlichen.

5.1.5 Möglichkeiten für weitere Indikatoren und Zusatzinformationen ausschöpfen

Eine Erweiterung der Liste der Indikatoren ist möglich, unter anderem in Richtung der Berücksichtigung der Ressourceninanspruchnahme. Der Kohlenstoffgehalt (carbon content) der Konstruktion und das Recyclingpotenzial können ebenso als Zusatzinformationen ausgewiesen werden wie potentiell vermiedene Emissionen

²³ Unter verborgenen Merkmalen (hidden characteristics) werden Gebäudeeigenschaften verstanden, die sich zum Beispiel nicht im Rahmen einer Inaugenscheinnahme/Objektbesichtigung feststellen lassen. Hierzu gehört zum Beispiel auch die energetische Qualität. Verborgene Merkmale werden in der Regel über Messungen oder Berechnungen erfasst und unter Verwendung gesonderter Unterlagen (zum Beispiel Energieausweis) kommuniziert.

bei Dritten infolge exportierter Energie. Es ist möglich, parallel zur Ökobilanz ein Materialinventar als Vorstufe für einen Ressourcenpass zu erstellen.

5.1.6 Ansatzpunkte im Ordnungsrecht finden, Grundsatzentscheidung herbeiführen

Für eine Berücksichtigung der Methode der ökobilanziellen Bewertung im Ordnungsrecht als Hilfsmittel für den Übergang zu einer Lebenszyklusanalyse bieten sich aus Sicht der Bearbeiter dieser Studie der Ansatz 1 bzw. der Ansatz 2 an:

- 1) Integration der ökobilanziellen Bewertung des vollständigen Lebenszyklus ins GEG
- 2) Einführung eines neuen Gesetzes für Klimaschutz und Ressourcenschonung

Die Entscheidung zwischen Ansatz 1 und Ansatz 2 hängt unter anderem auch davon ab, wo und wie sich politische Ziele wie die stärkere Berücksichtigung der grauen Energie, der Lebenszykluskosten sowie die Einführung eines Ressourcenpasses besser und kompakter umsetzen ließen. Die Bearbeiter dieser Studie empfehlen ein Vorgehen nach Ansatz 2. (vgl. Kap. 3.3).

5.1.7 Zeitschiene definieren

Je nach Stand und Geschwindigkeit der Schaffung von Voraussetzungen kann aus Sicht der Bearbeiter dieser Studie eine Einführung der ökobilanziellen Bewertung in das Ordnungsrecht frühestens 2025 erfolgen. Sie sollte spätestens bis 2030 erfolgt sein. (vgl. Kapitel 3.3)

Eine im Entwurf zur Gebäudeenergieeffizienzrichtlinie der EU (EPBD) vorgesehene Ermittlung der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus (ohne Bewertung auf der Basis von Anforderungen) ab 2030 für alle Neubauvorhaben als Angabe im Energieausweis käme aus Sicht der Bearbeiter dieser Studie zu spät. Eine unter Hinweis auf die ca. zwanzigjährigen Zyklen der Immobilienwirtschaft bei der Weiterentwicklung von Gebäuden durch Modernisierung/Anpassung erforderliche Lenkungswirkung für Neubau- und Modernisierungsvorhaben beginnend ab 2025 (spätestens ab 2030) würde so verfehlt. Dies stellt ein Risiko für das Erreichen politischer Ziele in 2030 und 2045 dar.

5.2 Hinweise zur Methode

Die Erstellung einer Ökobilanz für Gebäude im Rahmen des Ordnungsrechts entspricht zwar sinngemäß den üblichen Schritten nach DIN EN ISO 14040 und DIN EN ISO 14044, basiert jedoch überwiegend auf der Kombination verfügbarer Ökobilanzdaten zu Bauprodukten und Prozessen mit Größen (hier insbesondere Mengen) aus der Gebäudeplanung. Die zu erstellende Sachbilanz entspricht einer Mengenermittlung der im Gebäude verbauten Produkte, ggf. zuzüglich der Verluste bei Transport, Lagerung und Einbau (unter anderem Streu- und Bruchverluste). Die notwendige Mengenermittlung liegt in der Leistungsphase 3 nach HOAI für die Ermittlung von Baukosten weitgehend vor.

Auf Basis der vorliegenden Daten zur Kostenermittlung unter Nutzung der Elementmethode lassen sich durch Verknüpfung mit Informationen in geeigneten Bauteilkatalogen die Ressourceninanspruchnahme und die Umweltwirkungen bereits in frühen Phasen der Planung abschätzen. Die Bearbeiter dieser Studie sehen darin einen Weg zur Reduzierung des Bearbeitungsaufwands. Planer bzw. Kostenermittler sind damit grundsätzlich in der Lage sind, derartige Berechnungen durchzuführen.

Es wird empfohlen, dass sich die Ökobilanzierung im Rahmen des Ordnungsrechtes an den normgerechten und erprobten Rechenregeln des QNG orientiert. Folgende Lebenszyklusphasen sollten im Minimum für die Neubau- und Bestandsmaßnahmen bei sämtlichen Gebäude- und Nutzungsarten sowohl für Neubau- als auch für Bestandsmaßnahmen berücksichtigt werden, auch um die Methode zu vereinheitlichen:

- A1 Rohstoffbeschaffung
- A2 Transport
- A3 Produktion
- B4 Austausch
- B6.1 betriebsbedingter und genormter Energieeinsatz,
- B6.2 betriebsbedingter und nicht-genormter Energieeinsatz, soweit möglich
- B6.3 nutzer- und nutzungsbezogener Energieeinsatz.
- C3 Abfallbehandlung
- C4 Entsorgung

Für Wohnbauten ist Art und Umfang der in B6.2 erfassten Größen genauer zu definieren. Für Bestandsbauten gilt, dass Ressourceninanspruchnahme und Umweltbelastung der weitergenutzten Bauwerksteile mit Null in die Bilanz des künftigen Lebenszyklus eingehen, sie werden dem vorausgegangenen Lebenszyklus zugeordnet. Auf eine angemessene Mindesthaltedauer vor einem erneuten Umbau ist zu achten.

5.3 Hinweise zur Datengrundlage

Datengrundlage sind im Rahmen von Anforderungen des Ordnungsrechts die Angaben in der jeweils aktuellen ÖKOBAUDAT. Diese sollten für frühe Phasen der Planung in Form von Rechenwerten aufbereitet werden. Im Ordnungsrecht sollte auf die jeweils aktuelle Version der ÖKOBAUDAT verwiesen werden. Bei einem gleitenden Verweis sind klare Regelungen notwendig.

5.4 Hinweise zur Anforderungssystematik

Es wird empfohlen, je einen Anforderungswert für den gesamten Lebenszyklus zu definieren für

- Aufwand an Primärenergie, nicht erneuerbar
- Treibhausgasemissionen, dargestellt als Treibhauspotenzial (GWP 100).

Eine lebenszyklusbezogene Anforderung entspricht einer technologieoffenen Vorgehensweise im erweiterten Sinne und erlaubt das Erschließen von Optimierungspotenzialen. Für den betriebsbedingten Teil sollten zusätzlich Nebenanforderungen, für den gebäudebezogenen Erstaufwand zunächst Orientierungswerte für die Planung gelten.

Grundsätzlich können die Anforderungswerte sich an den Anforderungen des QNG-Plus-Niveaus orientieren. Anforderungs-/Grenzwerte können für bereits bearbeitete Gebäude- und Nutzungsarten aus dem QNG übernommen werden. Diese basieren auf Forschungsprojekten zur Erarbeitung von Bewertungsmaßstäben unter Nutzung von Referenzgebäuden. Langfristig wird das Ziel der Klimaneutralität top down aus der Notwendigkeit der Beachtung planetarer Grenzen abgeleitet (science based targets). Empfohlen wird eine (ergänzende) Beibehaltung von Anforderungen zur Begrenzung des Aufwands an Primärenergie, nicht erneuerbar. In Abhängigkeit von der weiteren Entwicklung der Diskussion zum Entwurf der EPBD kann der Aufwand an Primärenergie, gesamt angegeben und begrenzt werden. Eine Unterteilung in einen nichterneuerbaren und einen erneuerbaren Anteil bleibt wünschenswert.

Normkonform muss künftig das Treibhauspotenzial in ein GWP fossil und ein GWP biogenic unterteilt werden. Die Eignung jeweiliger Bezugsgrößen sollte weiter diskutiert werden.

In der mittelfristigen Entwicklung muss sich das Anforderungsniveau am Ziel der „Klimaneutralität“ bzw. „Netto-Treibhausgasneutralität“ als universelle Benchmark, die für alle Gebäude- und Nutzungsarten weltweit an-

gewendet werden kann, orientieren. Im Falle der Treibhausgasemissionen sollte daher im Rahmen von Förderprogrammen für die höchste Förderstufe von Gebäuden von einer ausgeglichenen Emissionsbilanz (zunächst in der Nutzungsphase) ausgegangen werden. In jedem Fall sollte angegeben werden, ob und welche zugelassenen Ausgleichs- und Kompensationsmöglichkeiten in der Bilanz berücksichtigt wurden, die Teile der Bilanz sollten (i.S.v. – xx kg CO₂ Äquv. m²a + yy CO₂ Äquv. m²a) dargestellt werden.

5.5 Ansätze zur Reduzierung des Bearbeitungsaufwandes

Eine angewandte Ökobilanzierung muss mit vertretbarem Aufwand in übliche Planungsabläufe integrierbar sein bei gleichzeitiger Rechtssicherheit und hoher Lenkungswirkung. Vorhandene Ressourcen und Daten sind konsequent zu nutzen, um diese Zielsetzung zu erreichen und gleichzeitig die Akzeptanz bei Fachleuten zu fördern. Eine „Vereinfachung“ im Sinne der Reduzierung des Bearbeitungsaufwandes kann durch die Begrenzung der Lebenszyklusbetrachtung auf einzelne Phasen und Module (unter anderem sieht QNG vor, zum Beispiel die Module A4, A5, C1 und C2 nicht zu bearbeiten), durch die Erstellung und Nutzung von einfach zu handhabenden Bauteilkatalogen sowie durch die Verwendung von Sockelbeträgen für die Bilanzierung der TGA, erreicht werden.

Für die Ermittlung der gebäudebezogenen Umweltwirkungen sind die Massen- und Mengenermittlung im Rahmen der Kostenermittlung als Eingangsgrößen vorhanden. Als zusätzlicher Schritt müssen diese neben der üblichen Verknüpfung mit Kostenkennwerten auch mit Kennwerten für zu beurteilende Umweltwirkungen verknüpft werden. Diese Daten müssen für die Bearbeitung bereitgestellt werden. Die Verfasser der vorliegenden Studie empfehlen, hierfür Bauteilkataloge mit entsprechenden Kennwerten zu erarbeiten und zur Verfügung zu stellen. Dies vereinfacht die Bearbeitung und verringert die Fehleranfälligkeit. Für Bauteilkataloge existieren geeignete Beispiele, weitere können mit vertretbarem Aufwand erstellt werden. Die Verknüpfung mit Datensätzen der ÖKOBAUDAT kann pro Bauteil mit etwa 10 Minuten veranschlagt werden.

Für den betriebsbedingten Anteil sind die Ergebnisse der GEG-Berechnung als Eingangsgrößen für den gebäudebezogenen Energiebedarf vorhanden. Alle Ansätze zur Reduzierung des Bearbeitungsaufwands im Kontext einer GEG-Berechnung können genutzt werden.

Bei Gebäuden mit gebäudeintegrierter oder gebäudenaher Gewinnung/Erzeugung erneuerbarer Energie muss eine Zusatzbetrachtung zu standortkonkretem Ertrag sowie zum Eigennutzungsanteil erfolgen. Dies ist eng mit Überlegungen zu einer Solardachpflicht verbunden.

Durch Anlehnung der ökobilanziellen Bewertung an die Kostenermittlung können so zukünftig auch die ökologischen Auswirkungen von Planungsentscheidungen frühzeitig erfasst und ggf. Optimierungspotenziale gehoben werden. Planerinnen und Planer werden so in die Lage versetzt, die bereits in den Grundleistungen der HOAI geforderte „Berücksichtigung der wesentlichen Zusammenhänge, Vorgaben und Bedingungen (zum Beispiel städtebauliche, gestalterische, funktionale, technische, wirtschaftliche, ökologische, soziale, öffentlich-rechtliche)“ in der Entwurfsplanung auch quantitativ zu erfassen.

Es wird daher für eine Reduzierung des Bearbeitungsaufwands bei der ökobilanziellen Bewertung zunächst die Nutzung von Bauteilkatalogen (für den gebäudebezogenen Anteil) in Kombination mit der Energiebedarfsberechnung nach DIN V 18599 (für den betriebsbedingten Anteil) empfohlen. Dieses Verfahren ist bereits erprobt und kann leicht ausgebaut und weiterentwickelt werden

5.6 Weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Die notwendigen Arbeitsschritte für die Einführung der lebenszyklusorientierten Ökobilanzierung im Ordnungsrecht sind:

- Weiterentwicklung der DIN V 18599, insbesondere im Teil BIPV
- Ergänzung der ÖKOBAUDAT
- Ermittlung und Veröffentlichung von Rechenwerten
- Erstellung von Bauteilkatalogen mit ökologischen Kennwerten
- Qualifizierungsoffensive für Fachplaner
- Entwicklung von Anforderungswerten für unterschiedliche Gebäudekategorien

Die genannten Aufgaben befinden sich im Kontext weiterer Projekte bereits in Bearbeitung (2), 4) und (5). Im Rahmen der Entwicklung des QNG ist sowohl die Qualifizierung von Experten bereits angestoßen als auch die Entwicklung von Anforderungswerten für einzelne Gebäudekategorien erfolgt. Auf diesen Vorarbeiten kann aufgebaut werden. Insbesondere Punkt 4), 5) und 6) können parallel erarbeitet bzw. verstärkt vorangetrieben werden.

6 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Kumulierter Primärenergieaufwand im Vergleich	S. 12
Abb. 2	Primärenergiebedarfswerte (Gebäude + Betrieb) einzelner Bauweisen / Energieniveaus	S. 13
Abb. 3	Treibhausgaspotenziale (Gebäude + Betrieb) einzelner Bauweisen / Energieniveaus	S. 13
Abb. 4	Elemente einer Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040:2021	S. 14
Abb. 5	Beschreibung von Systemgrenzen einer Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040:2021	S. 15
Abb. 6	Phasen und Module im Lebenszyklusmodell eines Gebäudes nach DIN EN 15643:2021	S. 16
Abb. 7	Übersicht über Wirkungskategorien, vereinfachte Darstellung	S. 17
Abb. 8	Zeitplan für Einführung gesetzlicher Anforderungen in ausgewählten Ländern	S. 20
Abb. 9	Situation in Dänemark	S. 20
Abb. 10	Situation in Schweden	S. 21
Abb. 11	Zielwerte, Zusatzanforderungen und orientierende Richtwerte für die Kategorie Wohnen	S. 22
Abb. 12	Klimaschutzzielwerte der Britischen Architektenkammer für 2030	S. 23
Abb. 13	Erfassung der Bauteile nach Kostengruppen	S. 38
Abb. 14	Klimaschutzeffekte und Kosten bei grünem Stahl #1 (low-carbon)	S. 39
Abb. 15	Klimaschutzeffekte und Kosten bei grünem Stahl #2 (low-carbon)	S. 40
Abb. 16	Übersicht der Level(s) Key Indicators	S. 51
Abb. 17	Beispiel für die parallele Darstellung von Primärenergieaufwand und Emissionen	S. 52
Abb. 18	Darstellungsmöglichkeit „rating badge“ für „graue“ Anteile inkl. Erstaufwand als Davonposition	S. 53
Abb. 19	Zielsetzungen für „graue Anteile“ bei unterschiedlichen Gebäudekategorien	S. 53
Abb. 20	Phasen und Module nach EN 15643-1, Berücksichtigung im GEG	S. 56
Abb. 21	Phasen und Module nach EN 15643-1, Berücksichtigung in der LCA	S. 58
Abb. 22	Bauteilkatalog für Außenwände im Holzbau	S. 70
Abb. 23	eLCA Bauteilvorlagen Dach in der Übersicht	S. 73
Abb. 24	eLCA Bauteilvorlage Sparrendach mit Schichtaufbau	S. 73
Abb. 25	eLCA Bauteilvorlage Sparrendach Schichtaufbau im Bereich Ziegel / Lattung	S. 74
Abb. 26	Verknüpfung zu Datensätzen im eLCA-Bauteileditor	S. 74
Abb. 27	Eigene Modellierung Haustür mit dem Fensterassistenten in eLCA	S. 76
Abb. 28	Treibhauspotenzial von Ausführungsvarianten im Geschosswohnungsbau	S. 77
Abb. 29	Primärenergiebedarf nicht erneuerbar von Ausführungsvarianten im Geschosswohnungsbau	S. 78
Abb. 30	eLCA-Baustoffranking Variante 1a	S. 79
Abb. 31	eLCA Baustoffranking Variante 3a	S. 79
Abb. 32	Kostenkennwerte mit unterschiedlichen Bezugsgrößen für MFH	S. 80
Abb. 33	eLCA-Außenwandtypen Einfamilienhaus	S. 81

7 Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Einschätzung des Zusatzaufwandes für die Etablierung einer Lebenszyklusperspektive	S. 27
Tab. 2	Lenkungswirkungen für die Entwicklung	S. 27
Tab. 3	Mehrwerte für Marktanreize	S. 28
Tab. 4	Detaillierung der Erfassung von Komponenten nach Leistungsphasen bei GEG-Berechnungen	S. 34
Tab. 5	Erfassung von nicht in der GEG-Bilanz enthaltenen Komponenten im Rahmen einer Ökobilanzbewertung	S. 36
Tab. 6	Vorschlag für Verfahren zur Erfassung nicht in der GEG-Bilanz enthaltener Komponenten	S. 37
Tab. 7	Zeitlicher Ablauf der Szenarien A und B	S. 42
Tab. 8	Vergleich von Ansatz 1 und 2 im Hinblick auf ausgewählte Themen des Koalitionsvertrags	S. 46
Tab. 9	Allgemeiner Vergleich von Ansatz 1 und 2	S. 47
Tab. 10	Vergleich zwischen den Zielen, Inhalten und Systemgrenzen des GEG und einer angewandten Ökobilanzierung	S. 49
Tab. 11	Mögliche Systemgrenzen für „graue“ Anteile; (z) = zusätzlich ausgewiesen	S. 59
Tab. 12	Bewertungsmatrix Vereinfachungsmethoden	S. 69
Tab. 13	Modellierung des Ausgangsgebäudes als Holzmassivbau	S. 72
Tab. 14	Modellierung des Ausgangsgebäudes als Stahlbetonmassivbau	S. 72
Tab. 15	Netto-Bearbeitungszeiten der Bauteilmodellierung	S. 75
Tab. 16	Umweltwirkungen unterschiedlicher Außenwandaufbauten	S. 81
Tab. 17	Ermittelte Umweltwirkungen der Fenster	S. 82

8 Literatur- und Quellenverzeichnis

- AKNDS – Architektenkammer Niedersachsen, (o.J.): Koordinatorinnen und Koordinatoren nachhaltiges Planen und Bauen. Zugriff: <https://www.aknds.de/bauherren/experten/koordinatoren-nachhaltiges-planen-und-bauen> [abgerufen am 07.10.2022].
- BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (ohne Jahr): Bekanntmachung zum Modellgebäudeverfahren, Infoportal Energieeinsparung. Zugriff: <https://www.bbsr-energieeinsparung.de/EnEVPortal/DE/Rechtsgrundlage/Bekanntmachungen/Modellgebäudeverfahren/Bekanntmachung-node.html> [abgerufen am 05.10.2022].
- BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (ohne Jahr): eLCA – Bauteileditor. Zugriff: <https://www.bauteileditor.de/> [abgerufen am 05.10.2022].
- BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2021: Klimaschutz im Gebäudebereich: Grundlagen, Anforderungen und Nachweismöglichkeiten für klimaneutrale Gebäude – Ein Diskussionsbeitrag. Zugriff: <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2021/bbsr-online-33-2021.html> [abgerufen am 07.10.2022].
- Boverket, 2020: Regulation on Climate Declarations for Buildings: Proposal for a Roadmap and Limit Values.
- BMI – Bundesministerium des Innern und für Heimat, 2019: Leitfaden Nachhaltiges Bauen.
- BMI – Bundesministerium des Innern und für Heimat, 2021: Handbuch Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude, Bilanzierungsregeln des QNG für Wohngebäude.
- BMWK, BMWBSB – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, 2022: Sofortprogramm gemäß § 8 Abs. 1 KSG für den Sektor Gebäude, S. 15.
- Butera, S.; Wendt Karl, A.; Astrup, T.; Collin, C.; Rasmussen, N.; Horup Sørensen, L., 2021: Project on LCA and Socioeconomics: Task 2 – Analysis of Other Countries' Approach to Building LCA; Danish Technological Institute (DTI), Series Ed. Zugriff: <https://www.lifecyclecenter.se/wp-content/uploads/Analysis-of-other-countries-approach-to-building-LCA.pdf> [abgerufen am 05.10.2022].
- Cavalliere, C.; Habert, G.; Dell'Osso, G.; Hollberg, A., 2019: Continuous BIM-Based Assessment of Embodied Environmental Impacts throughout the Design Process; Journal of Cleaner Production, No. Volume 211, 941–952.
- DENA – Deutsche Energie Agentur, (ohne Jahr): Energie-Effizienz-Experten (EEE) Expertinnen und Experten. Expertinnen und Experten für energetisches Bauen und Sanieren. Zugriff: <https://www.energie-effizienz-experten.de/fuer-experten> [abgerufen am 07.10.2022].
- Deutscher Bundesrat, 2022: Entwurf eines Gesetzes zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der Erneuerbaren Energien und weiteren Maßnahmen im Stromsektor. Zugriff: https://www.bundesrat.de/SharedDocs/drucksachen/2022/0101-0200/162-22.pdf?__blob=publicationFile&v=1 [abgerufen am 05.10.2022].
- Die Bundesregierung, 2020: Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden. Zugriff: <http://www.gesetze-im-internet.de/geg/> [abgerufen am 30.09.2022].
- Die Bundesregierung, 2021: Mehr Fortschritt Wagen. Bündnis Für Freiheit, Gerechtigkeit Und Nachhaltigkeit. (Koalitionsvertrag), S. 177.
- Die Bundesregierung, 2021: Bundes-Klimaschutzgesetz.
- DGNB – Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e. V., (ohne Jahr): <https://www.dgnb-system.de/de/dgnb-experten/index.php> [abgerufen am 07.10.2022].
- EU – Europäische Union, 2011: Verordnung (EU) Nr. 305/2011 Des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates.
- European Commission, 2022: Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL Laying down Harmonised Conditions for the Marketing of Construction Products, Amending Regulation (EU) 2019/1020 and Repealing Regulation (EU) 305/2011.

- European Commission, 2021: Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the Energy Performance of Buildings (Recast). Zugriff: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0802&qid=1641802763889> [abgerufen am 05.10.2022].
- European Commission, (ohne Jahr): EU taxonomy for sustainable activities. EU taxonomy for sustainable activities. Zugriff: https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/banking-and-finance/sustainable-finance/eu-taxonomy-sustainable-activities_en 1641802763889 [abgerufen am 22.10.2021].
- European Commission, 2012: DELEGIERTE VERORDNUNG (EU) Nr. 244/2012 DER KOMMISSION. Zugriff: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2012/244/oj?locale=ga [abgerufen am 05.10.2022].
- Feist, W., 1997: Lebenszyklusbilanzen im Vergleich: Niedrigenergiehaus, Passivhaus, Energieautarkes Haus, In: Arbeitskreis Kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 8: „Materialwahl, Ökologie und Raumlufthygiene“, S. V/1 – V/11, Hrg.: Wolfgang Feist, Passivhaus Institut, Darmstadt.
- Fischer, A.; Küper, M., 2021: Green Public Procurement. Potenziale Einer Nachhaltigen Beschaffung. IW-Policy Paper, Köln.
- Goedkoop, M.; Heijungs, R.; Huijbregts, M.; Schryver, A.; Struijs, J.; Van Zelm, R., 2008: A Life Cycle Impact Assessment Method Which Comprises Harmonised Category Indicators at the Midpoint and the Endpoint Level, 1st edition (version 1.08).; Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment (VROM), Ed.; 2013.
- Government Property Agency, 2022: Technical Annex: Sustainability and Net Zero. In The Government Workplace Design Guide.
- Greater London Authority, 2022: London Plan Guidance: Whole Life-Cycle Carbon Assessments; London; S. 41. Zugriff: <https://www.london.gov.uk/what-we-do/planning/implementing-london-plan/london-plan-guidance/whole-life-cycle-carbon-assessments-guidance> [abgerufen am 05.10.2022].
- Hencky, K., 2019: Die Wärmeverluste durch ebene Wände unter besonderer Berücksichtigung des Bauwesens, Reprint 2019.; Verlag R. Oldenbourg.
- Holzforschung Austria, (ohne Jahr): Katalog bauphysikalisch und ökologisch geprüfter Holzbauteile. Zugriff: [dataholz.eu](https://www.dataholz.eu/). <https://www.dataholz.eu/> [abgerufen am 07.10.2022].
- IGBC – Irish Green Building Council, (ohne Jahr): Level(s) – EU Sustainable Buildings Framework. Zugriff: <https://www.igbc.ie/certification/levels-eu-sustainable-buildings-framework/> [abgerufen am 07.10.2022].
- IWU – Institut Wohnen und Umwelt, (ohne Jahr): Teilenergiekennwerte von Nicht-Wohngebäuden. Zugriff: <https://www.iwu.de/forschung/energie/teilenergiekennwerte-von-nicht-wohngebaeuden/> [abgerufen am 07.10.2022].
- KBOB – Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren, (ohne Jahr): Ökobilanzdaten im Baubereich. Zugriff: https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/themen-leistungen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten_baubereich.html [abgerufen am 07.10.2022].
- König, H., et al., 1999: Umweltorientierte Planungsinstrumente für den Lebenszyklus von Gebäuden (LEGOE); Schlussbericht.
- König, H., 2017: Lebenszyklusanalyse von Wohngebäuden mit Berechnung der Ökobilanz und Lebenszykluskosten. Zugriff: https://www.lbb-bayern.de/fileadmin/quicklinks/Quick-Link-Nr-98300000-LfU-Gesamtstudie_Lebenszyklusanalyse.pdf [abgerufen am 05.10.2022].
- LETI, (ohne Jahr): Embodied Carbon Target Alignment. Zugriff: <https://www.leti.uk/carbonalignment> [abgerufen am 07.10.2022].
- Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, 2020: Réglementation environnementale RE2020. Zugriff: <https://www.ecologie.gouv.fr/reglementation-environnementale-re2020> [abgerufen am 05.10.2022].
- Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, 2021: Dekret Nr. 2021-1674 vom 16. Dezember 2021 über die Umwelterklärung von Bau- und dekorativen Produkten sowie Elektronik, Elektro-, und Klimatechnikgeräten. Zugriff: <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/decret/2021/12/16/LOGL2113184D/jo/texte> [abgerufen am 05.10.2022].

- Monte Verità, 2021: Declaration on a Built Environment within Planetary Boundaries. Zugriff: https://annex72.iea-ebc.org/Data/Sites/5/media/documents/monteverit%C3%A0declaration_final_signed.pdf [abgerufen am 05.10.2022].
- Nanewa, A., (ohne Jahr): greenBIM Programm. Zugriff: <https://www.fhnw.ch/de/die-fhnw/hochschulen/architektur-bau-geomatik/institute/ineb/ineb-forschung/nachhaltiges-bauen-und-betreiben/greenbim> [abgerufen am 05.10.2022].
- NC Real Estate, 2015: EPC's (Energy Performance Certificate) – A necessary document. Zugriff: <https://ncrealestate.co.uk/epcs-energy-performance-certificate-a-necessary-document/> [abgerufen am 07.10.2022].
- Reiß, N., 2022: Erweitertes Fortbildungsangebot zu nachhaltigem Planen und Bauen stößt auf großes Interesse. DAB No. 08/22, S. 6–7.
- RICS – Royal Institution of Chartered Surveyors, 2017: Whole Life Carbon Assessment for the Built Environment. Zugriff: <https://www.rics.org/globalassets/rics-website/media/news/whole-life-carbon-assessment-for-the--built-environment-november-2017.pdf> [abgerufen am 05.10.2022].
- RIBA (ohne Jahr): RIBA defends 2030 Climate Challenge after making targets easier. Architect's Journal. Zugriff: <https://www.architectsjournal.co.uk/news/riba-defends-2030-climate-challenge-after-making-targets-easier> [abgerufen am 05.10.2022].
- RIBA – Royal Institute of British Architects, 2021: 2030 Climate Challenge target metrics. 2030 Climate Challenge. Zugriff: <https://www.architecture.com/about/policy/climate-action/2030-climate-challenge#> [abgerufen am 05.10.2022].
- Röhm, T., 1993: Der Energieaufwand zur Herstellung des energieautarken Solarhauses Freiburg. Diplomarbeit, Universität Karlsruhe, Freiburg.
- SBE19 Graz, 2019: Grazer Deklaration für Klimaschutz im Baubereich – Ein Ergebnis der SBE19. Grazer Deklaration für Klimaschutz im Baubereich – Ein Ergebnis der SBE19. Zugriff: <https://gd.ccca.ac.at/> [abgerufen am 18.10.2021].
- Schweizerische Eidgenossenschaft, 2021: Bundesgesetz über die Reduktion der CO₂-Emissionen (Entwurf). Zugriff: <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-86492.html> [abgerufen am 05.10.2022].
- SIA – Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2004: SNARC: Systematik zur Beurteilung der Nachhaltigkeit von Architekturprojekten für den Bereich Umwelt; SIA-Dokumentation D; SIA.
- STI Bau- und Immobilienwirtschaft – Steinbeis-Transfer-Institut Bau- und Immobilienwirtschaft, 2022: Sachverständige für Nachhaltiges Bauen (SHB/STI). Zugriff: https://www.sti-immo.de/fileadmin/user_upload/pdf/STI_BNB-Sachverstaendige.pdf [abgerufen am 07.10.2022].
- Sturgis, S., 2019: Embodied and Whole Life Carbon Assessment for Architects; Hrsg. Royal Institute of British Architects (RIBA).
- SYKE – Finnish Environment Institute (ohne Jahr): Emissions database for construction. Zugriff: <https://co2data.fi/> [abgerufen am 05.10.2022].
- The Danish Housing and Planning Authority, 2021: National Strategy for Sustainable Construction; Ministry for the interior and housing.
- Unger, T.; Leitschuh, S.; König, H., 2019: Lebenszyklusanalyse von Wohngebäuden, 2. inhaltlich unveränderte Auflage.; Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Ed.; St. Ottilien.
- Unholzer, M.; Michl, P.; Lützkendorf, T., 2015: Ermittlung von Kennwerten für den Energiebedarf von Personenaufzügen in Wohn- und Nichtwohngebäuden: ein Beitrag zur Vervollständigung der Energiebilanz; Forschungsinitiative Zukunft Bau; Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.