

Gebäude-Ökobilanzen im Wandel der Zeit

Das Bauen heute ist geprägt von einer Vielzahl von Anforderungen, Nachweisen und Pflichten. Während noch bis vor kurzer Zeit v. a. statische und bauphysikalische Anforderungen an Gebäude formuliert wurden, werden in zunehmendem Maße Anforderungen zur Begrenzung von CO₂-Emissionen oder zur Reduzierung der grauen Energie gestellt, welche klimapolitisch eine immer größere Rolle spielen. Mit der Einführung des 1. Leitfadens für Nachhaltiges Bauen im Jahr 2001 war das nachhaltige Bauen eine Königsdisziplin und konnte über entsprechende Nachhaltigkeitszertifikate den Wert einer nachhaltigen Immobilie steigern. Heute wird Nachhaltigkeit von Gebäuden zunehmend als Standard angesehen und in Zukunft über Gesetze und/oder Verordnungen auch als ein solcher eingefordert werden. Wie sich der Stellenwert des nachhaltigen und v. a. des ökologischen Bauens sowie die Qualität der Ökobilanzdaten für Bauprodukte ebenso wie die Bewertungs- und Bilanzierungsmethodik für die Ökobilanzierung im Laufe der Zeit verändert haben, wird in diesem Aufsatz näher erörtert.

Stichworte Ökobilanz; Treibhauspotenzial; graue Energie; nachhaltiges Bauen; Gebäudelebenszyklus; Langlebigkeit; Bauweise; Betrachtungszeitraum; Umweltindikatoren

Life cycle assessment for buildings through the ages

Building today is characterised by a multitude of requirements, verifications and duties. While until recently static and physical requirements were set for buildings, requirements for limiting CO₂ emissions or reducing embodied energy are more and more frequently being imposed, which play an increasingly important role in climate policy. With the introduction of the 1st Guideline for Sustainable Building in 2001, sustainable building became a royal discipline and was able to increase the value of a sustainable property through corresponding certificates for sustainability. Today, sustainability of buildings is increasingly regarded as a standard and will be demanded as such in the future through laws and/or regulations. This article will discuss in detail how the status of sustainable and above all ecological construction, how the quality of LCA data for building products as well as the assessment and balancing methodology for LCA have changed over the time.

Keywords life cycle assessment; sustainable building; global warming potential; embodied energy; reference study period; homogenous construction; construction method; environmental assessment; building life cycle

1 Einleitung

Seit dem Inkrafttreten der ersten Wärmeschutzverordnung in Deutschland im Jahr 1977 ist der (Fach-)Planer im Bereich des Bauens mit wesentlichen Themen der Energieeffizienz von Gebäudehülle und Anlagentechnik konfrontiert und muss das energieoptimierte Bauen in der Gebäudeplanung mitdenken. Seither wurden die Anforderungen an den Wärmeschutz und den Energiebedarf von Gebäuden in regelmäßigen Abständen erhöht (Bild 1) mit dem Ziel, fossile Ressourcen zu schonen und den Energiebedarf zunehmend mit erneuerbaren Energien zu decken.

Seit gut zwei Jahrzehnten rücken immer mehr auch nachhaltige und ökologische Gesichtspunkte des Bauens in den Fokus der Gebäudeplanung und sind heute aus der baupolitischen sowie gesellschaftspolitischen Diskussion nicht mehr wegzudenken. Der Schutz der lokalen und globalen Umwelt und v. a. der Schutz des Klimas spielen in der heutigen Zeit beim Planen und Bauen von Gebäuden eine ebenso wichtige Rolle wie bspw. statische, brandschutztechnische und raumakustische Aspekte des Bauens.

2 Ökobilanzen – (nur) ein Teil der Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden

Die Betrachtung und Berücksichtigung von ökologischen Aspekten beim nachhaltigen Bauen [1] geben Aufschluss darüber, inwieweit die Umwelt durch Gebäude im Laufe ihres Lebenszyklus beeinträchtigt wird. Die Ökologie stellt im Nachhaltigkeitsdreiklang neben der Ökonomie und dem Soziokulturellen einen Aspekt dar. Hierbei liefert die Erstellung einer Ökobilanz (= Werkzeug zur Erfassung der In- und Output-Ströme von Produkten oder ganzen Gebäuden) die Möglichkeit einer qualitativen Beurteilung und kann im Zuge des ökooptimierten Bauens als Stellschraube z. B. zur Minimierung des Ausstoßes von CO₂-Emissionen dienen. Ebenso präsent wie die klimaschädlichen Treibhausgasemissionen ist der Begriff der grauen Energie im Kontext der politischen Debatte. Unter dem Begriff graue Energie wird die Summe der nichterneuerbaren Primärenergie für die Herstellung von Bauprodukten inkl. aller vorgelagerten Prozesse verstanden. Obwohl es noch einige andere ökologische Umweltindikatoren gibt, liegt der Fokus bei der geplanten Umstrukturierung der Gebäudeanforderungen in der aktuellen Zeit auf den beiden genannten Umweltwirkungen.

Primärenergiebedarf Doppelhaushälfte – Heizung [kWh/m²a]

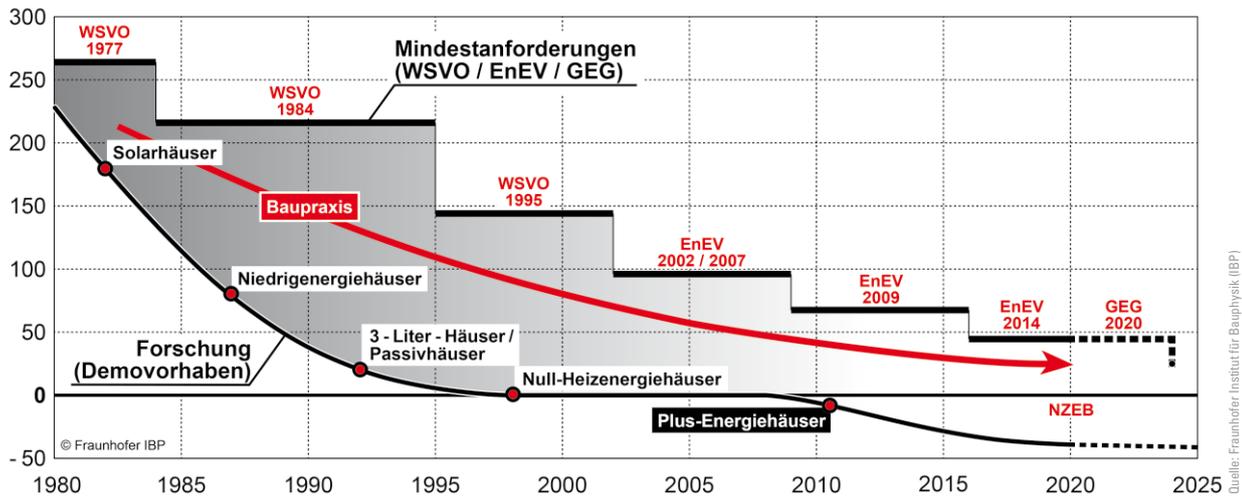


Bild 1 Entwicklung energetischer Gebäudeanforderungen bis heute
Development of energy-related building requirements till now

Die Qualität der Ergebnisse einer Ökobilanz und damit die Aussagekraft von z. B. Gebäudevariantenvergleichen hängt stark davon ab, welche Qualität die verwendeten Ökobilanzdaten haben und ob diese die baupraktische Realität vernünftig abbilden können. In Deutschland gibt es seit dem Jahr 2009 gesammelte Ökobilanzdaten der ÖKOBAUDAT [2], welche durch das BMWSB (Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen) zur Verfügung gestellt und in regelmäßigen Abständen aktualisiert bzw. ergänzt wird. Hier werden Ökobilanzdaten für die verschiedenen Lebenszyklusphasen von Gebäuden (Herstellung, Nutzung, Entsorgung und Recyclingpotenzial außerhalb der Systemgrenze (Modul D)) aufgeführt, welche für die Ökobilanzierung verwendet werden können. Eine Übersicht über den Umfang verschiedener ÖKOBAUDAT-Versionen der vergangenen Jahre für die unterschiedlichen Phasen im Gebäudelebenszyklus zeigt Bild 2.

Während die erste ÖKOBAUDAT noch mit 684 Datensätzen auskommen musste, stieg diese Zahl kontinuierlich im Laufe der Jahre an, sodass heute mit der aktuellen Version über 5000 Datensätze für die Ökobilanzierung zur Verfügung stehen. Hierbei ist zwischen folgenden Datensätzen innerhalb der ÖKOBAUDAT nach [3] zu unterscheiden:

- Specific dataset – Datensatz eines bestimmten Herstellers/Unternehmens/Werks, welcher für ein konkretes Produkt gilt.
- Average dataset – Datensatz als Durchschnittswert einer Branche, eines Verbands oder auch mehrerer Firmen, welcher auf den erfassten Daten der tatsächlichen Produktion beruht.
- Representative dataset – durchschnittlicher Datensatz, der nur für ein bestimmtes Land oder eine Gegend aussagekräftig ist.
- Template dataset – Datensatz für konkrete Produkte, der auf der Grundlage einer Muster-EPD erhoben wurde.

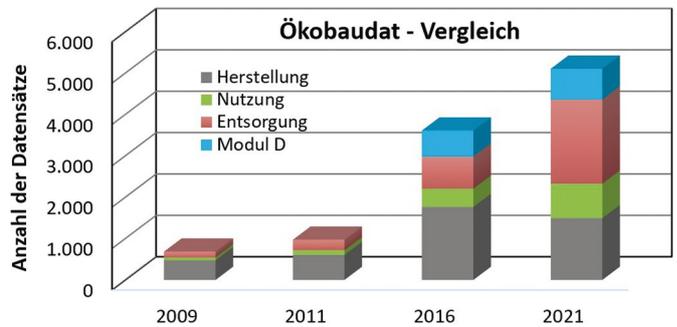


Bild 2 Vergleich verschiedener ÖKOBAUDAT-Versionen bezüglich der Anzahl ihrer Ökobilanzdatensätze
Comparison of different ÖKOBAUDAT versions concerning the number of their LCA data sets

- Generic dataset – DIN-EN-15804-konformer Datensatz [4], welcher nicht auf konkreten Hersteller- oder Industriedaten beruht, sondern auf der Grundlage von Fachliteratur oder anderweitiger Expertise modelliert wurde.

Je nach Herkunft der Datensätze werden verschiedene Sicherheitszuschläge (10%, 20%, 30%) verwendet, deren Höhe von der Unsicherheit bzw. der Repräsentativität der Datengrundlage des dargestellten Bauprodukts abhängig ist. Die Verfügbarkeit von Datensätzen oder der Datensatztyp allein hat jedoch noch keinen Anspruch auf Aktualität oder Vollständigkeit. Mit der A2-Änderung der DIN EN 15804-A2:2022-03 [5], welche die grundlegenden Produktkategorieregeln (engl.: product category rules = PCR) für Typ-III-Umweltproduktdeklarationen (engl.: environmental product declaration = EPD) für Bauprodukte und Bauleistungen aller Art in Europa regelt, wurde auch die Erstellung der Ökobilanzdatensätze geändert. Somit sind ältere und aktuelle Ökobilanzdaten der ÖKOBAUDAT nicht direkt miteinander vergleichbar, das gilt auch für Ergebnisse von vollständigen Gebäude-Ökobilanzen bei Verwendung unterschiedli-

cher Versionen von Ökobilanzdatensätzen. Die aktuelle DIN EN 15804-A2 beinhaltet v. a. im Hinblick auf den Umweltindikator Treibhauspotenzial (engl.: global warming potential = GWP) wichtige Änderungen, welche eine differenzierte Deklaration von GWP-biogen, GWP-fossil und GWP-luluc für alle Module fordert und somit anders berechnet wird als in der Vorgängerversion. Auch andere Umweltindikatoren wie das Versauerungspotenzial (engl.: acidification potential = AP) oder das Überdüngungspotenzial (engl.: eutrophication potential = EP) sind von dieser Neuerung betroffen. Weiterhin werden zusätzliche Indikatoren eingeführt, wie z. B. Human-Toxizität oder Öko-Toxizität, welche nicht zwingend in der EPD zu deklarieren sind, aber in jedem Fall berechnet werden müssen.

3 Variantenvergleiche auf Gebäudeebene

Das Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. in München untersuchte 2021 in der Studie „Ökobilanz von Einfamilienwohnhäusern in moderner Ziegel- und Holzbauweise“ [6] verschiedene Gebäudevarianten des EFH-Typengebäudes der Arge Kiel e.V. [7] (Bild 3) hinsichtlich zweier ökologischer Indikatoren. Im weiteren Verlauf dieses Aufsatzes wird diese Studie kurz mit FIW-Studie bezeichnet. Die Studie baut in den Grundsätzen auf der Studie „Graue Energie von Einfamilienhäusern in Niedrigstenergie-Gebäudestandard“ aus dem Jahr 2019 auf [8]. In der neuen FIW-Studie aus dem Jahr 2021 wurden zum einen die maßgebenden Gebäudekennwerte für das Treibhauspotenzial (GWP) und somit der zu erwartenden CO₂-Emissionen, zum anderen die gebäudebezogenen Werte für die nichterneuerbare Primärenergie (engl.: primary energy non-renewable total = PENRT), auch als graue Energie bekannt, ermittelt und für verschiedene Gebäudevariationen ausgewertet. Bei den Varianten wurden einerseits verschiedene energetische Standards (aktueller GEG-Standard (= Standard nach dem Gebäudeenergiegesetz), zukünftiger GEG-Standard = EH55-Standard, EH40-Standard) und unterschiedliche Betrachtungszeiträume untersucht. Andererseits wurden die Bauweisen des Beispielgebäudes variiert und in ökologischer Hinsicht optimiert.

Die geometrischen Kennwerte der Tab. 1 beschreiben die Kubatur des untersuchten EFH-Typengebäudes.

Für die verschiedenen energetischen Standards liegen die U-Werte für die thermische Gebäudehülle und die daraus folgenden Werte für den spezifischen Transmissionswärmeverlust H^*_T nach Tab. 2 zugrunde.

Weiterhin wurden die maßgebenden Innenbauteilkonstruktionen des Kellers (Bodenplatte, Kellerwände) in der Ökobilanz ebenso berücksichtigt wie die Innenbauweisen der beheizten Geschosse. Diese Bauteilaufbauten wurden im Hinblick auf ökologische, statische und baupraktische Gesichtspunkte optimiert und weisen daher je Bauweise Unterschiede auf.

Tab. 1 Gebäudekubatur und geometrische Kennwerte des Typengebäudes der Arge Kiel e.V.
Building cubature and geometric parameters of the type building of Arge Kiel e.V.

Kennwert/Angabe	Kennwert	Einheit
Anzahl der Vollgeschosse	2	
Anzahl der Wohneinheiten (WE)	1	
Keller vorhanden?	ja	
Keller beheizt?	nein	
beheiztes Gebäudevolumen V_e	565	m ³
Energiebezugsfläche (Gebäudenutzfläche) A_N	181	m ²
Nettogrundfläche A_{NGF}	148	m ²
thermische Gebäudehüllfläche A	423	m ²
A/V_e	0,75	m ⁻¹
Anbaugrad des Gebäudes	freistehend	

Die Gebäudevarianten werden sowohl nach ihrer Bauweise der thermischen Gebäudehülle als auch nach ihrer Bauweise des Innenausbau unterschieden und erhalten die folgenden Kurzbezeichnungen:

- ZI - U monolithische Ziegelbauweise, ungefüllt (Innenausbau als schwere Ziegelbauweise ausgeführt)
- ZI - U - LB monolithische Ziegelbauweise, ungefüllt (Innenausbau als Leichtbauweise ausgeführt)
- ZI - D monolithische Ziegelbauweise, dämmstoffgefüllt (Innenausbau als schwere Ziegelbauweise ausgeführt)
- ZI - D - LB monolithische Ziegelbauweise, dämmstoffgefüllt (Innenausbau als Leichtbauweise ausgeführt)
- HZ Holzrahmenbauweise (Innenausbau als Leichtbauweise ausgeführt)

Der Vergleich der Gebäudevariationen zeigt für die Ausführung mit ökooptimierter Innenbauweise (ZI-U-LB, ZI-D-LB) hinsichtlich des Treibhauspotenzials, dass Gebäude mit monolithischen Ziegeln als Außenhülle das gleiche Niveau erreichen können wie Gebäude in Holzleichtbauweise (Bild 4). Gleiches gilt auch für die Werte der grauen Energie (Bild 5).

Die Berechnungen zeigen, dass der Anteil des Gebäudebetriebs an der Gesamt-Ökobilanz im Vergleich zur Errichtungs- und Entsorgungsphase des Gebäudes mit besserem energetischem Gebäudestandard abnimmt. Somit wird die ökologische Performance des Gebäudes hinsichtlich der eingesetzten Baumaterialien und Rohstoffe zu Beginn bzw. am Ende des Gebäudelebenszyklus wichtiger für den ökobilanziellen Gesamtwert.

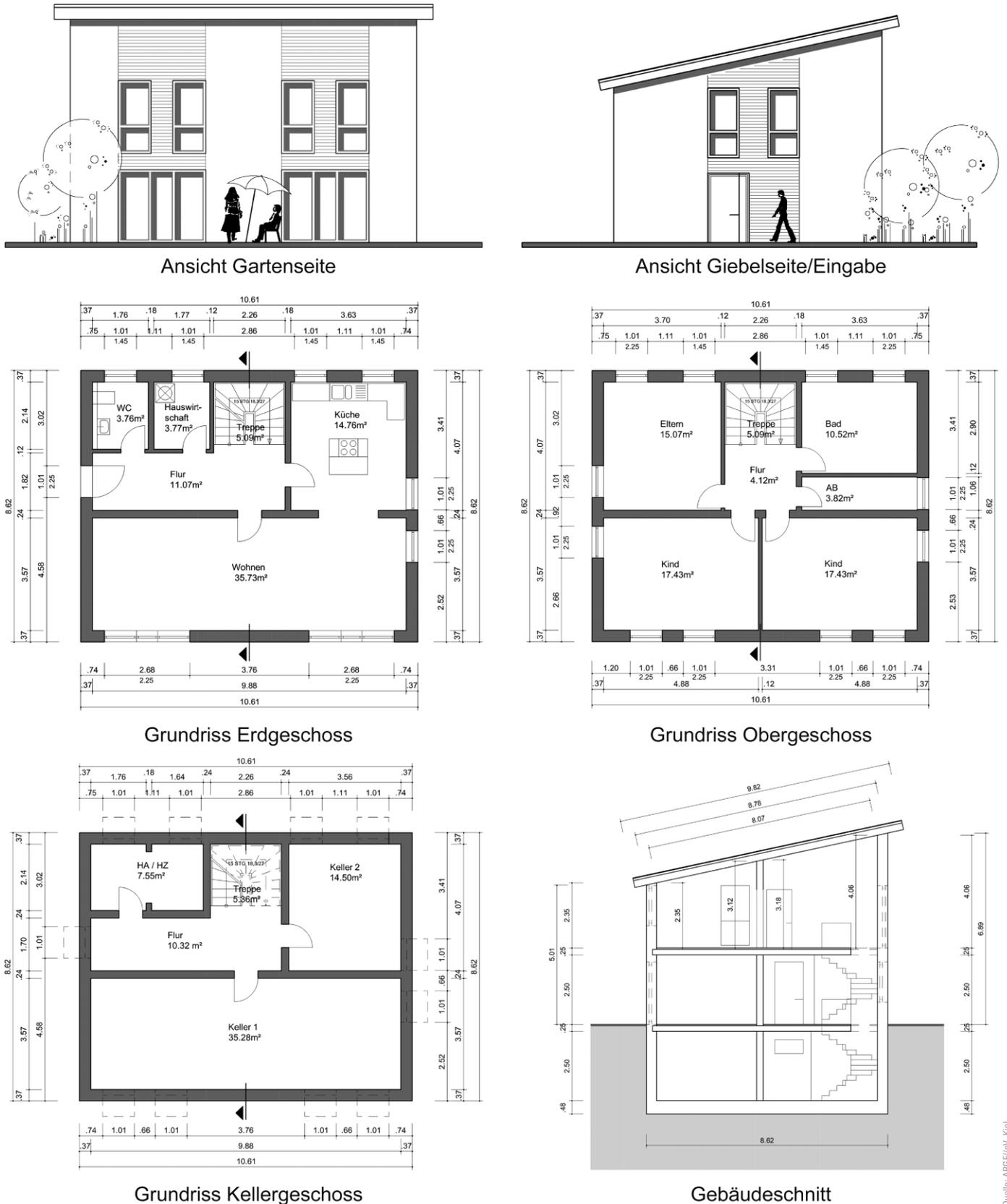


Bild 3 Ansichten und Grundrisse des Typengebäudes der Arge Kiel e.V. – Orientierung des Eingangs: Osten
Views and floor plans of the type building of Arge Kiel e.V. – orientation of the entrance: east

Weiterhin ist klar, dass die Gebäudevarianten bei Ansatz eines angemessen langen Betrachtungszeitraums von 80 Jahren oder mehr hinsichtlich der Bauweise ökologisch gleichwertig angesehen werden können und die Erhöhung des energetischen Niveaus hin zu einem EH55-

oder EH40-Standard in ökologischer Sicht lohnenswert ist. Der Mehraufwand für die bessere Qualität der Gebäudehülle wird durch die Einsparungen der Energie überkompensiert und führt in Summe zu geringeren Werten an grauer Energie und CO₂-Emissionen.

Tab. 2 Übersicht wärmetechnische Kennwerte der Gebäudehülle je Gebäudevariation
Overview of thermal parameters of the building envelope acc. to building variation

Bauteil	U-Wert in W/(m ² K)			
	Referenz	GEG	EH55	EH40
Außenwand/Mauerziegel (ungefüllt)	0,28	0,23	0,20	0,17
Außenwand/Mauerziegel (dämmstoffgefüllt)	0,28	0,25	0,20	0,18
Außenwand/Holzständer	0,28	0,23	0,20	0,18
geneigtes Dach	0,20	0,17	0,12	0,11
Fenster	1,30	1,30	0,90	0,70
Kellerdecke	0,35	0,31	0,23	0,18
H'_T	0,429	0,374	0,282	0,222

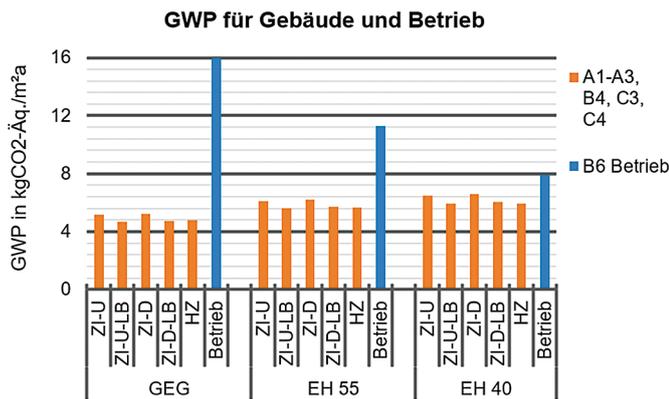


Bild 4 Vergleich der auf die Nutzfläche A_N bezogenen Treibhausgasemissionen des Beispielgebäudes für einen 80-jährigen Betrachtungszeitraum (inkl. Gebäudetechnik und Betrieb)
Comparison of the greenhouse gas emissions of the example building related to usable area A_N for an 80-year period of consideration (incl. building supply technology and operation)

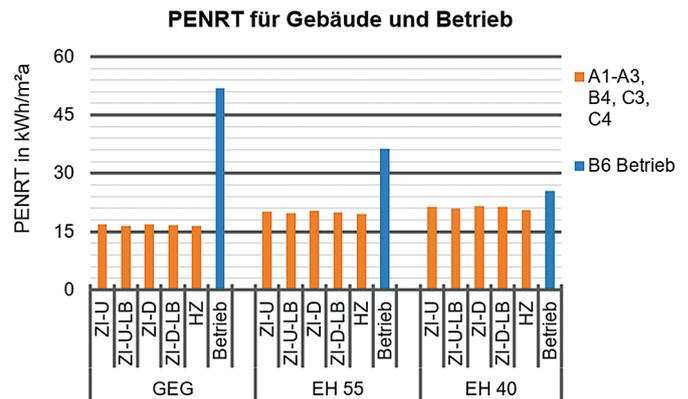


Bild 5 Vergleich der auf die Nutzfläche bezogenen grauen Energie des Beispielgebäudes für einen 80-jährigen Betrachtungszeitraum (inkl. Gebäudetechnik und Betrieb)
Comparison of the embodied energy of the example building related to usable area A_N for an 80-year period of consideration (incl. building supply technology and operation)

Für eine Bewertung der ökologischen Qualität der untersuchten Umweltindikatoren kann der Vergleich mit den Benchmarks der gängigen Nachhaltigkeitszertifizierungssysteme für Wohngebäude in Deutschland herangezogen werden. Diese sind:

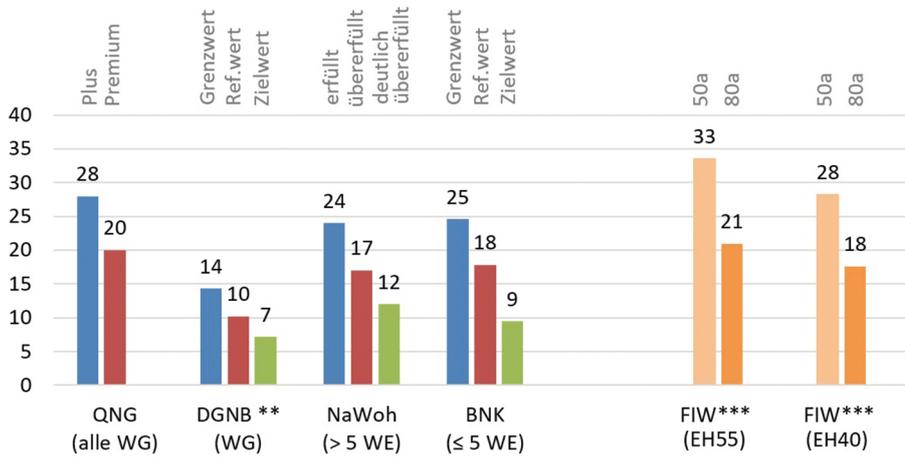
- Bewertungssystem Nachhaltiger Kleinwohnbau (BNK) für ≤ 5 Wohneinheiten,
- Qualitätssiegel Nachhaltiger Wohnungsbau (NaWoh) für > 5 Wohneinheiten,
- Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen (DGNB) für alle Wohngebäude,
- Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG), welches jedoch kein eigenes Zertifizierungssystem darstellt, sondern für die Vergabe von Fördermitteln im Neubau nach der Bundesförderung für energieeffiziente Gebäude (BEG) bei besonders nachhaltiger Planung mit Zertifizierung nach einem der o. g. Zertifizierungssysteme herangezogen wird.

Für einen anschaulichen Vergleich werden die Benchmarks für die Fördergrenzen des QNG sowie die Benchmarks des DGNB-, NaWoh- und BNK-Systems herangezogen (Bilder 6, 7, linke Seite) und mit den Ergebnissen der FIW-Studie für die Effizienzhausstandards EH55 und EH40 verglichen (Bilder 6, 7, rechte Seite).

Anhand der Ergebnisse der FIW-Studie lässt sich anschaulich darstellen, dass für die Einhaltung der Benchmarks der zugrunde liegende Betrachtungszeitraum eine große Rolle spielen kann. Ein aus Sicht der Baubranche kurzer Zeitraum von 50 Jahren wirkt sich hier negativ aus, da die ökologischen Anfangsinvestitionen nicht auf die volle technische Lebensdauer, die für gefüllte und ungefüllte Ziegelprodukte in den EPDs der Branche nach [9, 10] mit 150 Jahren angegeben ist, verteilt werden. Diese Erkenntnis sollte sich gleichermaßen in den aktuellen Entwicklungen zu gesetzlichen Gebäudestandards und zukünftiger Fördersystematik im Gebäudebereich widerspiegeln. Wenn die Anforderungen an den Gebäudebestand der Zukunft zunehmend zu mehr Nachhaltigkeit und Klimaneutralität tendieren sollen, müssen diese über angemessene Zeiträume bilanziert werden.

4 Zusammenfassung/Fazit

In der Diskussion zur Definition künftiger Anforderungen wird in diesem Kontext häufig darauf verwiesen, dass mit zunehmendem energetischem Standard auch die Relevanz der grauen Energie, also jener Energiebedarf, der nötig war, um die Materialien herzustellen, an die Bau-



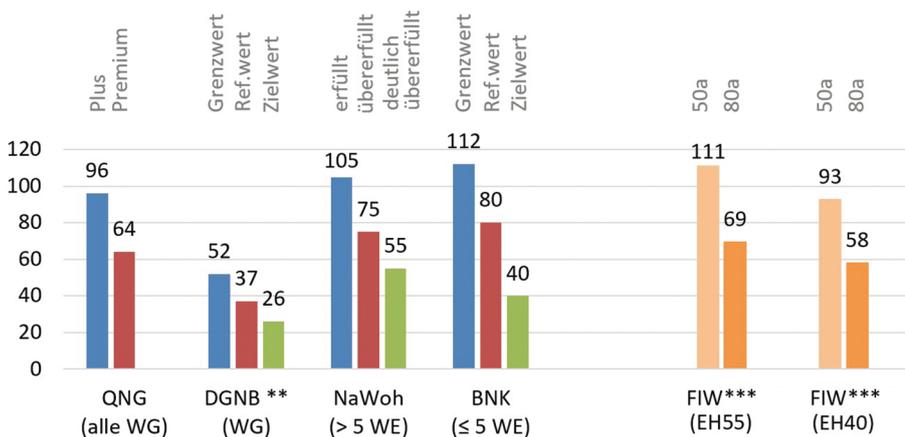
Benchmarks für GWP in kgCO₂-Äq/(m²a)

Die Angaben beziehen sich für QNG, DGNB und NaWoh auf die Nettoraumfläche (m²_{NRf}), für BNK auf die Nettogrundfläche (m²_{NGFa}). Die Flächen können für kompakte Gebäude als in etwa gleich angesetzt werden.

** Beim DGNB-System beziehen sich die Benchmarks auf das zugrunde liegende Referenzgebäude und dessen Strom- bzw. Endenergiebedarfe und können nicht ohne Weiteres mit den Benchmarks der anderen Nachhaltigkeitssysteme verglichen werden.

*** Die Ergebnisse der FIW-Studie beinhalten weder Nutzerstrom noch gebäudenah erzeugten Strom z. B. aus PV-Anlagen.

Bild 6 Vergleich der Benchmarks für Treibhausgasemissionen für dt. Nachhaltigkeitszertifizierungssysteme im Wohngebäudebereich
Comparison of greenhouse gas emission benchmarks for German sustainability certification systems in residential buildings



Benchmarks für PENRT in kWh/(m²a)

Die Angaben beziehen sich für QNG, DGNB und NaWoh auf die Nettoraumfläche (m²_{NRf}), für BNK auf die Nettogrundfläche (m²_{NGFa}). Die Flächen können für kompakte Gebäude als in etwa gleich angesetzt werden.

** Beim DGNB-System beziehen sich die Benchmarks auf das zugrunde liegende Referenzgebäude und dessen Strom- bzw. Endenergiebedarfe und können nicht ohne Weiteres mit den Benchmarks der anderen Nachhaltigkeitssysteme verglichen werden.

*** Die Ergebnisse der FIW-Studie beinhalten weder Nutzerstrom noch gebäudenah erzeugten Strom z. B. aus PV-Anlagen.

Bild 7 Vergleich der Benchmarks für PENRT (graue Energie) für dt. Nachhaltigkeitszertifizierungssysteme im Wohngebäudebereich
Comparison of PENRT (embodied energy) benchmarks for German sustainability certification systems in residential buildings

stelle zu transportieren und zu verbauen, an Bedeutung gewinnt. Damit kommt der Erstellung von Ökobilanzen zur Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden eine immer größer werdende Bedeutung zu. Zur Kalkulation von grauer Energie und Treibhausgasemissionen von Gebäuden existieren verschiedene Werkzeuge. Eine einfache Integration in den Planungsablauf ist derzeit jedoch nicht gegeben. Somit ist es wichtig, die vorhandenen Instrumente und Arbeitshilfen zu optimieren und weiter zu verbessern, um eine einheitliche und planungssichere

Basis für die Bewertung von Gebäuden zu schaffen. Nur so wird es möglich sein, zukünftige Entscheidungen zu mehr Klimaneutralität auf ein wissenschaftlich und fachplanerisch zukunftsfähiges Fundament zu stellen. Weiterhin sind hierbei die Grundsätze der Technologieoffenheit, des ganzheitlichen Lebenszyklusansatzes auf Gebäudeebene und eines angemessenen Langzeithorizonts von mindestens 80 Jahren zu wahren, um so die ökobilanzziel (Fach-)Planung im bisher gängigen Planungsprozess als Standard zu etablieren.

Literatur

- [1] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (2001) *Leitfaden Nachhaltiges Bauen* [online]. Berlin: BMWSB. www.nachhaltigesbauen.de
- [2] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (2021) *ÖKOBAUDAT* [online]. Berlin: BMWSB. www.oekobaudat.de
- [3] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (2021) *ÖKOBAUDAT-Handbuch – Technisch/formale Informationen und Regeln zur ÖKOBAUDAT-Datenbank – Version 2.1* [online]. Berlin: BMWSB. <https://www.oekobaudat.de/service/downloads.html>
- [4] DIN EN 15804:2014-07 (2014) *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte*. Berlin: Beuth. Ausgabe Juli 2014.
- [5] DIN EN 15804:2022-03 (2022) *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte*; Deutsche Fassung. Berlin: Beuth. Ausgabe März 2022.
- [6] Holm, A.; Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München (2021) *Ökobilanz von Einfamilienwohnhäusern in moderner Ziegel- und Holzbauweise*. München.
- [7] Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. Kiel (2022) *Typengebäude*. Kiel.
- [8] Holm, A.; Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München (2019) *Graue Energie von Einfamilienhäusern in Niedrigenergie-Gebäudestandard*. München.
- [9] Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V. (2021) *Umwelt-Produktdeklaration nach EN 15804+A1 – Mauerziegel (ungefüllt)*. Berlin.
- [10] Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V. (2021) *Umwelt-Produktdeklaration nach EN 15804+A1 – Mauerziegel (mit Dämmstoff gefüllt)*. Berlin.

Autorin und Autor

Dipl.-Ing. Juliane Nisse (Korrespondenzautorin)
nisse@ziegel.de
Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V.
Reinhardtstr. 12–16
10117 Berlin

Prof. Dr.-Ing. Andreas Holm
holm@fiw-muenchen.de
Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München
Lochhamer Schlag 4
82166 Gräfelfing

Zitieren Sie diesen Beitrag

Nisse, J.; Holm, A. (2022) *Gebäude-Ökobilanzen im Wandel der Zeit*. Mauerwerk 26, H. 2, S. 70–76.
<https://doi.org/10.1002/dama.202200003>

Dieser Aufsatz wurde in einem Peer-Review-Verfahren begutachtet.
Eingereicht: 3. März 2022; angenommen: 30. März 2022.