

04

3. Jahrgang
August 2024
ISSN 2750-8382
Sonderdruck

nbau

NACHHALTIG BAUEN



ÖKOBILANZIERUNG ZWEISCHALIGER
MAUERWERKSBAUWEISEN IM KONTEXT DER
NEUBAUFÖRDERUNG

Juliane Nisse, Sebastian Pohl, Oskar Wrese

Ökobilanzierung zweischaliger Mauerwerksbauweisen im Kontext der Neubauförderung

Juliane Nisse, Sebastian Pohl, Oskar Wrese

Die zweischalige Bauweise mit Mauerwerk wird aufgrund ihrer klimaresilienten Eigenschaften, ihrer hohen Widerstandsfähigkeit gegen Naturgefahren und ihrer vielfach belegten Langlebigkeit zu Recht nachhaltig genannt. Diese Form der Nachhaltigkeit verursacht jedoch höhere CO₂-Emissionen als bspw. eine einschalige Bauweise. Gerade in der heutigen Zeit, in der klimatische Auswirkungen von Gebäuden und deren CO₂-Fußabdruck mehr und mehr in den Fokus politischer Stakeholder rücken, gewinnt dieser Aspekt enorm an Bedeutung. Der folgende Bericht soll aufzeigen, dass die auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Förderprogramme, welche die CO₂-Emissionen über den gesamten Gebäudelebenszyklus als Kriterium für die Klimafreundlichkeit adressieren, grundsätzlich technologieoffen angelegt und daher auch mit einer zweischaligen Bauweise die erforderlichen Benchmarks erreichbar sind.

1 Einleitung

Der Gedanke an das Bauen ist heute sehr eng verknüpft mit dem Thema Förderung, sowohl im Sanierungs- als auch im Neubaubereich. Das ist kein Wunder, denn die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) unterstützt seit 1949 den Wohnungsbau in Deutschland mit monetären Anreizen. Bis zum Jahr 2022 waren die zu erlangenden Fördermittel an Energieeffizienzkriterien geknüpft. Doch in den heutigen Zeiten, in denen die Wirkung auf unsere Umwelt, die Schonung unserer fossilen Ressourcen und die Verlangsamung des Klimawandels einen allgegenwärtigen und damit überaus wichtigen Stellenwert in Gesellschaft und Politik einnehmen, sehen auch die Förderbedingungen anders aus. Mitte des Jahres 2021 wurde zum ersten Mal in der deutschen Förderpolitik ein Bonuspaket für nachhaltiges Bauen eingeführt. Um dieses Bonuspaket förderpolitisch umsetzen zu können, wurde die Gewährleistungsmarke Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG) entwickelt, die durch akkreditierte Zertifizierungsstellen als Siegelvergabestellen ausgestellt wird. Mit diesem Startschuss verliehen die Entwicklungen in rasantem Tempo, sodass wir heute mit dem aktuellen Neubauförderprogramm, genannt *Klimafreundlicher Neubau* (KfN), einen neuen, zukunftsweisenden Wegbereiter für mehr Klimaschutz haben.

1.1 Nachhaltiges Bauen und QNG

Obwohl es durch die förderpolitischen Entwicklungen den Anschein hat, ist das nachhaltige Bauen keine neue oder gar unbekannte Disziplin. So haben sich seit dem Jahr 2001 in Deutschland verschiedene, von ihrer Nutzung abhängige Nachhaltigkeitszertifizierungssysteme entwickelt, die auch heute noch im Rahmen der KfN-Förderung in Bezug genommen werden. Im Bereich des Wohnungsneubaus gibt es derzeit in Deutschland drei Zertifizierungssysteme, die das QNG-Siegel ausstellen dürfen:

- Bewertungssystem Nachhaltige Gebäude (BNK/BNG), anwendbar für alle Wohngebäude
- Qualitätssiegel Nachhaltiger Wohnungsbau (NaWoh), anwendbar für Wohngebäude mit sechs und mehr Wohneinheiten
- Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Gebäude (DGNB), anwendbar für Wohngebäude mit bis zu sechs (Modul: DGNB -

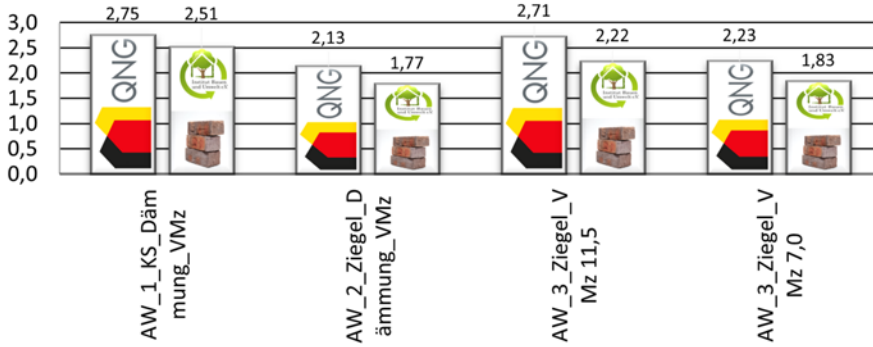
Kleine Wohngebäude) und mehr Wohneinheiten (DGNB - Wohnen)

Die deutschen Nachhaltigkeitszertifizierungssysteme basieren auf der Grundlage eines ganzheitlichen, performanceorientierten Ansatzes. Für die KfN-Förderung wird nun dieser Ansatz kombiniert mit harten QNG-Benchmarks, welche nach aktueller Meinung der Politik die größte Lenkungswirkung für mehr Klimaschutz entfalten. Ganz konkret fordert die zweite QNG-Förderstufe, welche derzeit mit den höchsten finanziellen Anreizen verknüpft ist, die Einhaltung folgender Benchmarks:

- Einhaltung des energetischen Standards für ein Effizienzhaus 40
- vollständige Durchführung einer Nachhaltigkeitszertifizierung nach einem zugelassenen Zertifizierungssystem, wobei mindestens 50 % Erfüllungsgrad des gesamten Gebäudes und ggf. weiterer Mindestanforderungen erreicht werden müssen
- Ökobilanz (LCA) für Treibhausgasemissionen (GWP = global warming potential): $24 \text{ kgCO}_2\text{-Äq}/(\text{m}^2_{\text{NRF}} \cdot \text{a})$
- Ökobilanz (LCA) für graue Energie (PENRT = primary energy non-renewable total): $96 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{NRF}} \cdot \text{a})$
- bei Verwendung von Holz: Nutzung von mindestens 50 % Holz aus nachweislich nachhaltiger Forstwirtschaft
- Schadstoffe in Baumaterialien: Dokumentation der verbauten Produkte und Verpflichtungserklärung der ausführenden Firmen zur Einhaltung der QNG-Schadstofftabelle
- Barrierefreiheit: mindestens 80 % der Wohnungseinheiten sind *ready besuchsgerecht*

Ein besonderes Augenmerk soll hier auf die Ökobilanzierung gelegt werden, denn dadurch wird im Hinblick auf die Fördersystematik erstmalig der vollständige Gebäudelebenszyklus berücksichtigt, statt wie in Zeiten vor dem Jahr 2022 nur die Betriebsphase des Gebäudes (reine Energieeffizienzförderung). Zum vollständigen Gebäudelebenszyklus gehören die Phasen: Herstellung (A1-A3), Instandsetzung (B4), Nutzung (B6), Abriss und Entsorgung (C3/C4) sowie das Recyclingpotenzial D, welches jedoch nur informativ ausgewiesen und nicht verrechnet wird. Durch diese neue Betrachtungsweise und die Berücksichtigung von in der Zukunft liegenden Maßnahmen werden am Bau Beteiligte vor enorme Herausforderungen gestellt, da Planungs- und Optimierungsprozesse langfristig auf diese neue Ausrichtung umgestellt werden müssen. Um die Durchführung der Ökobilanzierung einheitlich zu gestalten und für die Zertifizierungsstellen prüfbar zu machen, wurden zum Start des KfN-Programms verbindliche QNG-Rechenregeln festgelegt. Sie geben die konkrete Bilanzierungsmethode vor und legen fest, wie und mit welchen ökobilanziellen Datensätzen die LCA-Analyse durchzuführen ist. Die Verwendung einer vorgegebenen Rechenwerttabelle für Ökobilanzdaten, der pauschale Ansatz für den Nutzerstrom von $20 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{NGF,beh.}} \cdot \text{a})$ in der Betriebsphase oder die Verwendung von Sockelbeträgen für die Berücksichtigung der gebäudetechnischen Anlagen sind nur einige Beispiele dafür.

Vergleich GWP in kgCO₂-Äq/(m²_{AW}*a); über 50a



Quelle: BV Ziegel

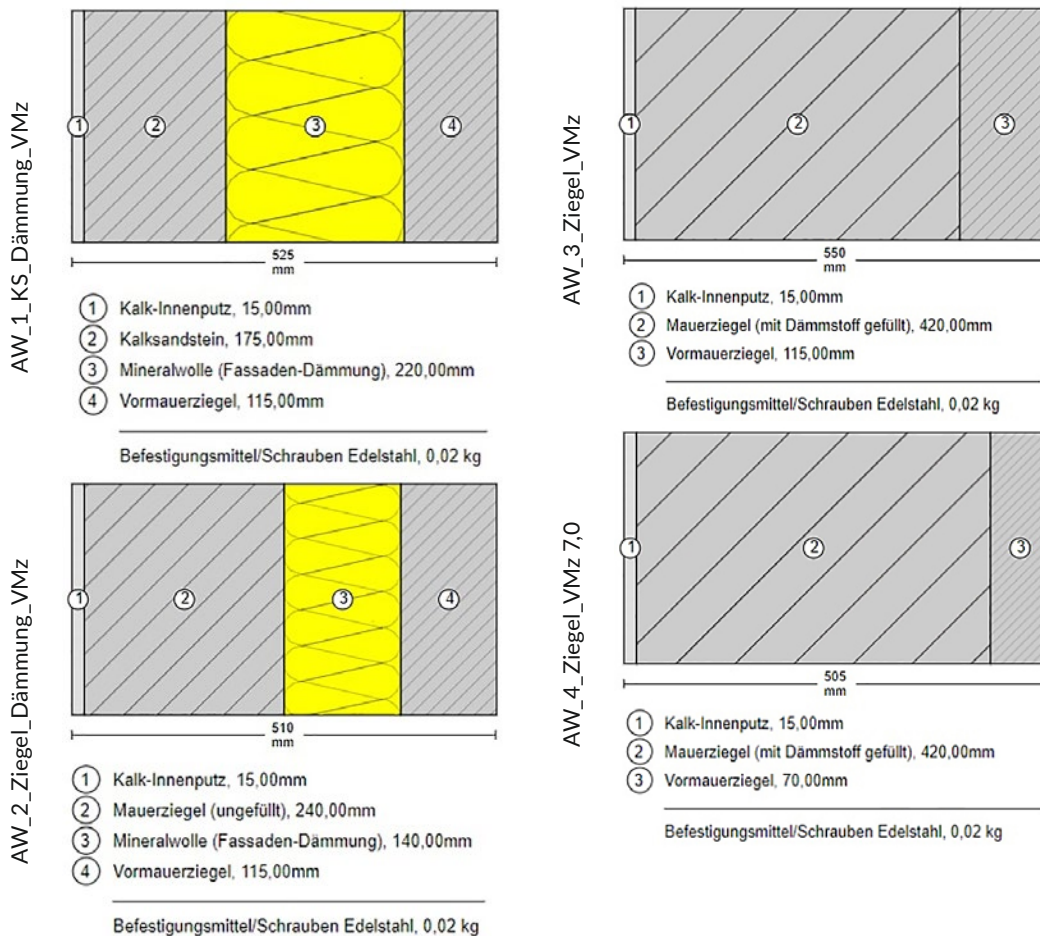
Bild 1 Bauteilbezogener Vergleich zweischaliger Außenwandkonstruktionen bei Verwendung unterschiedlicher Ökobilanzdatensätze

1.2 Umweltproduktdeklarationen im Kontext der Förderung

Die Bereitstellung von Ökobilanzdaten erfolgt nach den Regeln der DIN EN 15804 [1] und hängt stark davon ab, welche Daten(-typen) Eingang in die Bilanzierung finden. Die ÖKOBAUDAT ist die größte, regelmäßig vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) gepflegte und aktualisierte Datenbank für ökobilanzielle Daten in Deutschland. Sie existiert seit 2009 und beinhaltet verschiedene Datensatztypen, u. a. generische Datensätze und durchschnittliche Datensätze (Nisse [2]). Generische Ökobilanzdatensätze werden normkonform und auf Grundlage von z. B. Fachliteratur modelliert und erhalten, je nach Literaturquelle, einen Sicherheitszuschlag von bis zu 30 %. Durchschnittsdatsätze hingegen beruhen auf realen, von mehreren

Partnern erhobenen Produktionsdaten, welche am Ende als Mittelwert ausgewiesen werden. Ein Beispiel hierfür sind die Branchen-EPDs (Umweltproduktdeklaration = environmental product declaration) der Ziegelindustrie für Vormauer-, Hintermauer- und Dachziegelprodukte (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e. V. [3–5]).

Die QNG-Rechenregeln geben nun die zu verwendenden Datensätze genau vor, dies sind derzeit die Daten aus der ÖKOBAUDAT-Version 2020-II und davon nur die generischen. In derselben ÖKOBAUDAT-Version existieren jedoch auch viele andere Datensätze, wie z. B. die Durchschnittsdatsätze der Ziegelindustrie, die gegenüber den generischen Datensätzen bessere Werte für die Bilanzierung ausweisen (würden).



Quelle: eLCA

Bild 2 Außenwandkonstruktionen der zweischaligen Bauweise für den bauteilbezogenen Vergleich bei der Verwendung unterschiedlicher Ökobilanzdatensätze

Den bauteilbezogenen Unterschied für 1 m² Bauteilfläche bei Verwendung der QNG-geforderten Pflichtdatensätze gegenüber den branchenspezifischen Datensätzen auf Bauteilebene zeigt Bild 1 für die in Bild 2 dargestellten Außenwandkonstruktionen.

Es wird deutlich, dass der bauteilbezogene Unterschied für die dargestellten Aufbauten bis zu 18 % betragen kann (Bild 1). Klar ist jedoch auch, dass sich aus einer Ökobilanzierung auf Bauteilebene

keine Prognose für die Übertragung auf Gebäudeebene ableiten lässt. Für die ökologische Bilanzierung eines vollständigen Gebäudes müssen in Anlehnung an die DIN EN ISO 14040 [6] und DIN EN ISO 14044 [7] alle Konstruktionen der Kostengruppen 300 und 400 nach DIN 276 [8] in der Berechnung berücksichtigt werden, ebenso wie die Nutzungsphase des Gebäudes über einen festgeschriebenen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren.

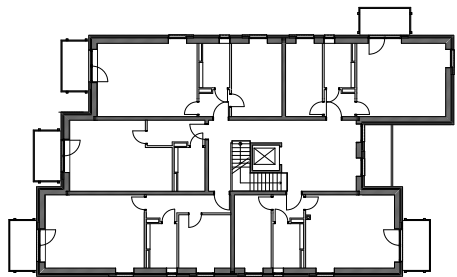
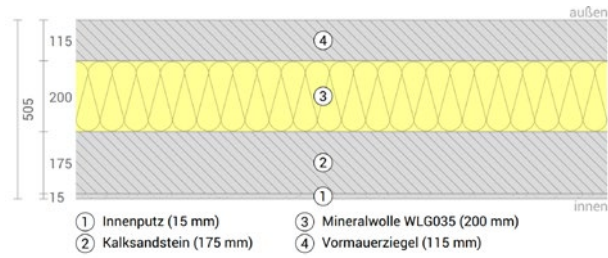
Tab. 1 Darstellung der Beispielgebäude sowie der untersuchten Außenwandvarianten

Muster-MFH

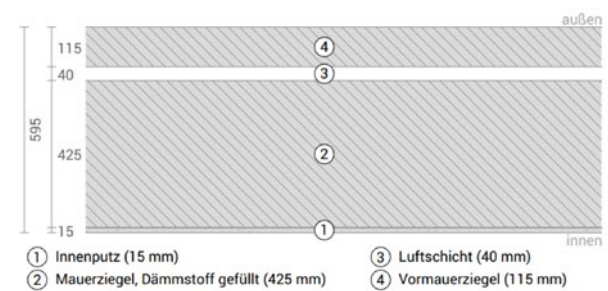
Varianten der Außenwandkonstruktionen



Ziegelverblendmauerwerk mit KS



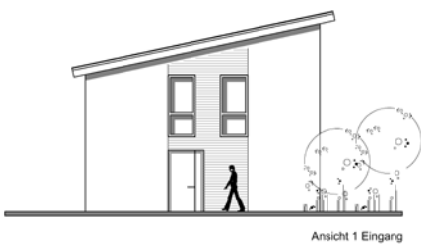
Ziegelverblendmauerwerk mit Z (gefüllt)



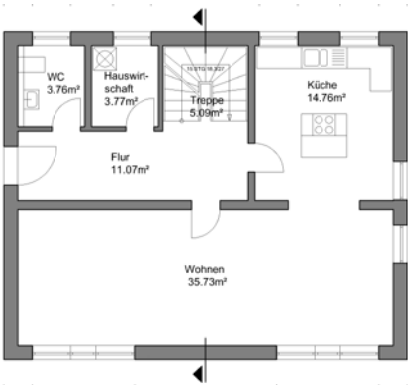
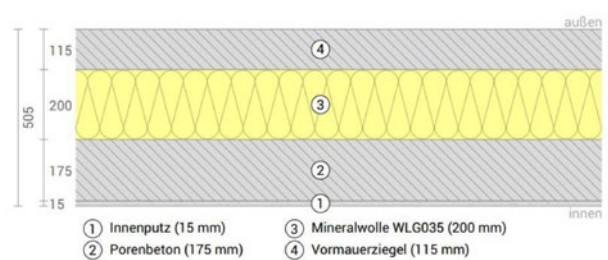
siehe [11], Außenmaße 15,79 m x 26,88 m

Muster-EFH

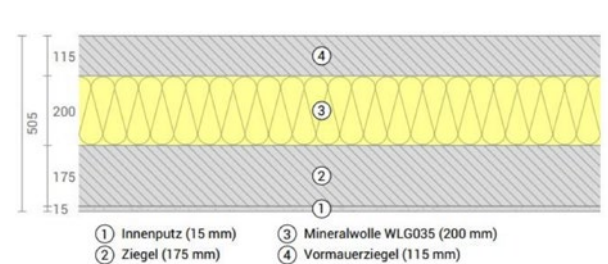
Varianten der Außenwandkonstruktionen



Ziegelverblendmauerwerk mit PB



Ziegelverblendmauerwerk mit Z



siehe [12], Außenmaße 8,62 m x 10,61 m

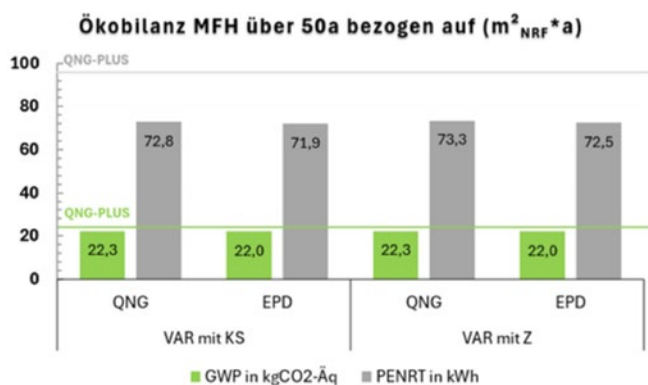


Bild 3 Ergebnisse der Ökobilanzierung für das Muster-MFH [9]

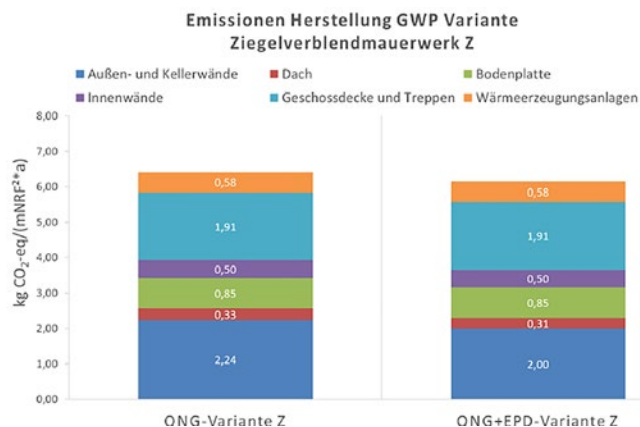


Bild 5 Ergebnisse der Ökobilanzierung für das Muster-MFH – CO₂-Emissionen für AW-Variante 2 für Herstellungsphase (A1–A3) der KG 300 [9]

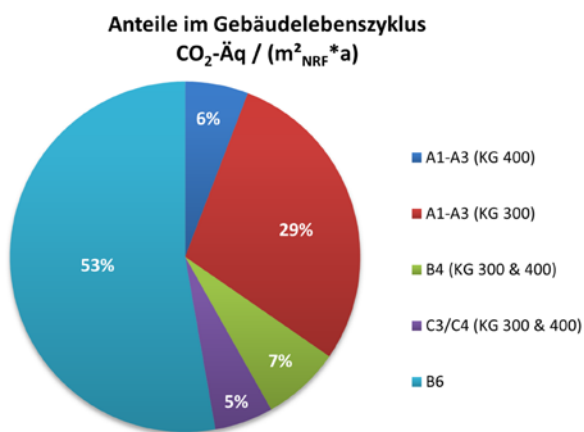


Bild 4 Ergebnisse der Ökobilanzierung für das Muster-MFH – Aufteilung nach Phasen im Gebäudelebenszyklus [9]

2 Studie zur vollständigen Ökobilanzierung zweischaliger Bauweisen

Um Aussagen zur Verwendung der verschiedenen Ökobilanzdatensätze aus Abschn. 1.2 in den Gebäudekontext zu stellen, untersuchte das Beratungsbüro LCEE (Life Cycle Engineering Experts) im Auftrag des Bundesverbands der Deutschen Ziegelindustrie anhand zweier Beispielgebäude in zweischaliger Mauerwerksbauweise die Auswirkungen auf die Ökobilanz sowie die Einhaltung der aktuellen QNG-Benchmarks für Treibhausgasemissionen und die graue Energie (LCEE [9, 10]). Bei den Beispielgebäuden handelt es sich einerseits um ein mehrgeschossiges Wohngebäude (Urban Thiesen Architektur [11]), andererseits um ein Einfamilienwohnhaus (Arge Kiel e. V. [12]) in jeweils zwei Ausführungsvarianten für die Außenwandkonstruktionen. Die Gebäude und die jeweils untersuchten Varianten der Außenwandkonstruktion werden in Tab. 1 vorgestellt.

2.1 Ausgewählte Ergebnisse des Muster-MFHs

Die Berechnungen wurden für die in Tab. 1 dargestellten Außenwandvariationen mit einer schweren Innenbauweise und nach den QNG-Rechenregeln durchgeführt. Jede Variante wird zusätzlich mit einer Betrachtung der Ökobilanzdaten aus aktuellen EPDs für die tragenden Konstruktionen sowohl der thermischen Gebäudehülle als auch der Innenbauweise ergänzt und in der Ergebnisübersicht in Bild 3 dargestellt. In dieser Darstellung ist mit QNG diejenige Variante gemeint, welche nach QNG-Rechenregeln sowie mit den Ökobilanzdaten der vorgeschriebenen Rechenwerttabelle erstellt wurde. Mit EPD wird die Variante bezeichnet, wel-

che nach QNG-Rechenregeln, aber mit aktuellen EPD-Daten für die Ökobilanzierung berechnet wurde.

Es zeigt sich, dass der deutlich erkennbare Unterschied zwischen generischen und EPD-Datensätzen auf Bauteilebene (s. Bild 1) bei der Gesamt-Gebäudebilanz nahezu nicht mehr erkennbar ist. In relativen Zahlen ausgedrückt, beträgt dieser Unterschied ca. 2%. Woran das liegt, lässt sich sehr gut erkennen, wenn die einzelnen Lebenszyklusphasen mit ihrem jeweiligen Anteil an der Ökobilanz, wie in Bild 4 dargestellt, betrachtet werden. Hier zeigt sich, dass auf die Herstellung aller Baukonstruktionen (KG 300) im Gebäudelebenszyklus lediglich 29% der gesamten Ökobilanz anfallen. Den größten Anteil mit 53% macht die Betriebsphase aus, worin die Energieversorgung des Gebäudes mit Wärme, Trinkwarmwasser und ggf. Strombedarf für die Lüftung sowie zusätzlich der Nutzerstrombedarf enthalten sind.

Geht man noch einen Schritt weiter und betrachtet die Verteilung innerhalb der Kostengruppe 300 für die Herstellungsphase – sie macht für diese Kostengruppen den größten Anteil aus –, so zeigt sich der Einfluss der Außenwandkonstruktionen auf das Gesamtgebäude aus ökobilanzieller Sicht (Bild 5). Die hier dargestellte Variante nach Tab. 1 ist die Außenwandkonstruktion mit gefüllter Ziegeltragschale.

Es lassen sich folgende Erkenntnisse aus den durchgeführten Berechnungen ableiten:

1. Anhand der Berechnung lässt sich ausführen, dass das Muster-MFH in zweischaliger Bauweise trotz eines eher ungünstigen A/V_e-Verhältnisses die Benchmarks der QNG-PLUS-Stufe von 24 kgCO₂-Äq/(m²_{NRF} * a) gleichwohl erreichen kann. (Hinweis: Das A/V_e-Verhältnis ist ein Wert, der sich durch Division der thermischen Hüllfläche eines Gebäudes durch sein Bruttovolumen ergibt und somit einen geometrischen Wert für die Gebäudekompaktheit darstellt.)
2. Der Einfluss der Außenwand (und damit auch ihrer ökologischen Optimierung) ist nicht so groß, wie man zunächst erwarten würde. Führt man die Informationen aus den Bildern 4, 5 zusammen, ergibt sich für die Außenwandkonstruktionen ein Anteil von ca. 10% an der gesamtökologischen Bewertung.
3. Demzufolge ist auch der Unterschied bei der Verwendung von generischen (alten) und durchschnittlichen (realen bzw. neuen) Daten nicht so groß, wie zunächst auf Bauteilebene erwartet werden könnte.

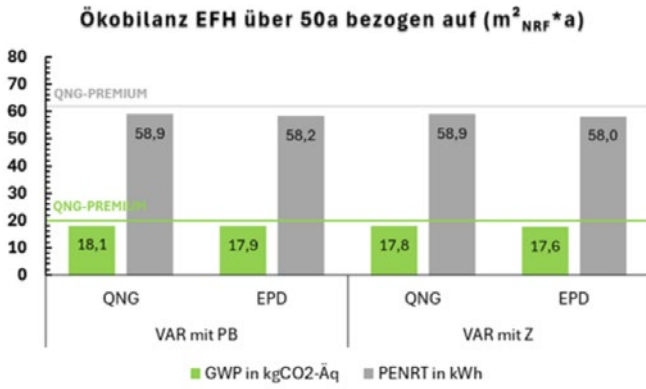


Bild 6 Ergebnisse der Ökobilanzierung für das Muster-EFH [10]

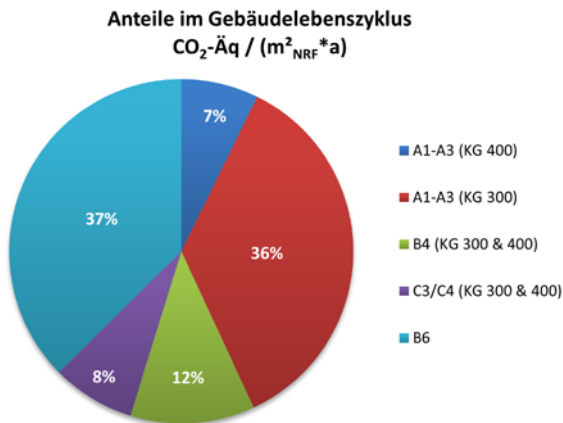


Bild 7 Ergebnisse der Ökobilanzierung für das Muster-EFH – Aufteilung nach Phasen im Gebäudelebenszyklus [10]

4. Die Betriebsphase hat maßgeblichen Einfluss auf den Endwert der ökologischen Bilanzierung auf Gebäudeebene. Damit einhergehend liegt der Fokus auf Maßnahmen zur Erreichung des Effizienzhaus-40-Standards und der Verrechnung des Nutzerstroms.

2.2 Ausgewählte Ergebnisse des Muster-EFHs

Analog zu den Berechnungen des Mehrfamilienwohnhauses wurde auch für die Bilanzierung des Muster-EFHs vorgegangen. Die baukonstruktiven Aufbauten der Außenwände unterscheiden sich bezüglich der Materialien der tragenden Schichten für die zweischalige Ausführung im Einfamilienhausbereich. Die hier gewählten Aufbauten stellen laut Angaben der Vormauerziegelindustrie die gängige Praxis dar. Aufgrund der gleichen Herangehensweise wie beim Muster-MFH ist auch die Lesart der Ergebnisdarstellung in Bild 6 gleichzusetzen.

Es zeigt sich auch hier, dass der erwartete Unterschied aufgrund der Betrachtung auf Bauteilebene (s. Bild 1) auf Gebäudeebene nicht in gleichem Maße sichtbar wird. Es lässt sich jedoch erkennen, dass sich die Verteilung des ökobilanziellen Einflusses der einzelnen Lebenszyklusphasen im Vergleich zum Muster-MFH deutlich anders darstellt (Bild 7). Obwohl das Gebäude deutlich kompakter ist, ergibt sich ein anderes Verhältnis und damit auch ein anderer Einfluss der Baukonstruktionen auf die Gesamtbilanz. Auf die Herstellung aller Baukonstruktionen (KG 300) im Gebäudelebenszyklus fallen 36 % der gesamten CO₂-Emissionen an (Bild 7). Der Anteil der Betriebsphase verringert sich auf 37 %, was u. a. auch auf das günstigere Dachflächen-Nutzflächen-Verhältnis

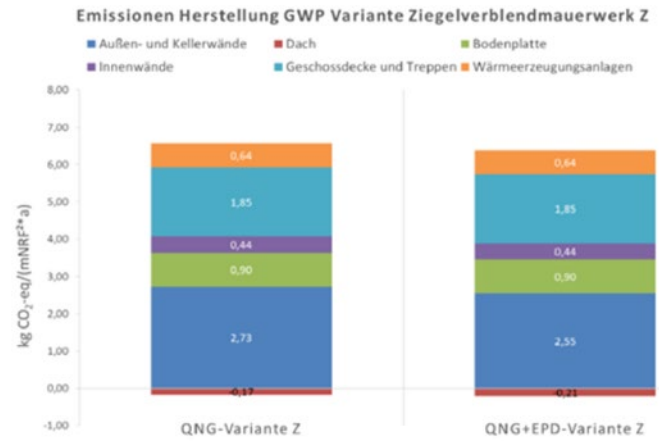


Bild 8 Ergebnisse der Ökobilanzierung für das Muster-EFH – CO₂-Emissionen für AW-Variante 2 für Herstellungsphase (A1-A3) der KG 300 [10]

zurückzuführen ist. Folglich lässt sich bei diesem Beispielgebäude durch eine Optimierung der Baukonstruktionen der Außen- und Innenbauweisen aufgrund ihres Einflusses grundsätzlich eine größere CO₂-Einsparung als beim Muster-MFH bewirken.

Die Betrachtung der Ökobilanzanteile der Außenwand mit einer Ziegeltragschale innerhalb der Kostengruppe 300 für die Herstellungsphase (Bild 8) zeigt auch hier, dass ihr Einfluss auf das Gesamtgebäude aus ökobilanzieller Sicht nur ca. 15 % ausmacht. Der erhöhte Anteil für die Instandsetzung der Teile für Baukonstruktionen und Anlagentechnik mit 12 % (Bild 7) fällt hauptsächlich aus den Instandsetzungsintervallen der Gebäudetechnik an. Nahezu alle Aufbauten der Kostengruppe 300 weisen hohe technische Nutzungsdauern auf und haben somit innerhalb des 50-jährigen Betrachtungszeitraums nahezu keine Maßnahmen für die Instandsetzung zur Folge.

Es lassen sich folgende Erkenntnisse aus den durchgeführten Berechnungen für das Muster-EFH ableiten:

1. Im Einfamilienhausbereich unterschreitet die zweischalige Bauweise den QNG-PREMIUM-Standard von 20 kgCO₂-Äq/(m²_{NRF} * a) und ist damit für die KfN-Förderung sowohl der ersten als auch der zweiten Förderstufe bestens geeignet.
2. Entgegen der gängigen Annahme ist der Einfluss der Außenwand auf die Gesamt-Ökobilanz kleiner Wohngebäude nicht sehr groß. Er liegt bei kompakten EFHs – wie dem Muster-EFH – bei ca. 15 %.
3. Auf Gebäudeebene stellt sich kein allzu großer Unterschied im Vergleich von generischen zu durchschnittlichen Ökobilanzdatensätzen ein.
4. Die Betriebsphase hat maßgeblichen Einfluss auf den Endwert der ökologischen Bilanzierung auf Gebäudeebene im Einfamilienhausbereich. Somit liegt auch hier ein deutlicher Fokus auf Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz und der Kompensation des Nutzerstroms.

3 Zusammenfassung und Fazit

Für die betrachteten Beispielgebäude der zweischaligen Bauart konnten die Anforderungen an die aktuelle Neubauförderung eingehalten werden, obgleich die verpflichtende Verwendung von generischen Datensätzen für die Ökobilanzierung und die zugrun-

de liegende Betrachtungsdauer von nur 50 Jahren für diese Bauart eher ungünstige Randbedingungen darstellen. Die reale technische Lebensdauer von Ziegelprodukten liegt abweichend von den BBSR-Nutzungsdauertabellen [13] mit 150 Jahren [3–5] weit über dem anzusetzenden Betrachtungshorizont, sodass ihre Langlebigkeit unter diesen Bedingungen ökologisch nicht zur Vorteilhaftigkeit beiträgt. Bei Verlängerung des Betrachtungs- bzw. Bilanzierungszeitraums auf für Gebäude angemessene Zeiträume, z. B. 100 Jahre, würde sich dies auch in den konstruktionsbezogenen Ökobilanzteilen zeigen.

Literatur

- [1] DIN EN 15804:2022-03 (2022) *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte*. Berlin: Beuth. Ausgabe März 2021.
- [2] 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>
- [3] Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e. V. (2021) *Umweltproduktdeklaration für Vormauerziegel, Pflasterziegel und Riemchen*. <https://epd-online.com/EmbeddedEpdList/Download?id=14643>
- [4] Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e. V. (2021) *Umweltproduktdeklaration für Mauerziegel (mit Dämmstoff gefüllt)*. <https://epd-online.com/EmbeddedEpdList/Download?id=14392>
- [5] Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e. V. (2021) *Umweltproduktdeklaration für Dachziegel (inklusive Zubehör)*. <https://epd-online.com/EmbeddedEpdList/Download?id=15322>
- [6] DIN EN ISO 14040:2021-02 (2021) *Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen*. Berlin: Beuth. Ausgabe Februar 2021.
- [7] DIN EN ISO 14044:2021-02 (2021) *Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen*. Berlin: Beuth. Ausgabe Februar 2021.
- [8] DIN 276:2018-12 (2018) *Kosten im Bauwesen*. Berlin: Beuth. Ausgabe Dezember 2018.
- [9] LCEE Life Cycle Engineering Experts GmbH (2024) *Bauen mit Ziegel im Förderprogramm Klimafreundlicher Neubau – Ökobilanzstudie Muster MFH*.
- [10] LCEE Life Cycle Engineering Experts GmbH (2024) *Bauen mit Ziegel im Förderprogramm Klimafreundlicher Neubau – Ökobilanzstudie Muster EFH*.
- [11] Urban Thiesen Architekten PartGmbH & Wankendorfer Baugenossenschaft für Schleswig-Holstein eG (2015) *Kieler Modell*.
- [12] Arge Kiel e. V. (2021) *Bauforschungsbericht – Berechnung von Typengebäuden in Kiel 2.0 – EFH Typengebäude*. Ausgabe März 2021.
- [13] Bundesministerium für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2017) *Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)*. Berlin: BBSR. Ausgabe Februar 2017.

Autor:innen

Juliane Nisse, nisse@ziegel.de

Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e. V., Berlin
www.ziegel.de

Dr.-Ing. Sebastian Pohl, s.pohl@lcee.de

Oskar Wrese, o.wrese@lcee.de

Life Cycle Engineering Experts GmbH, Darmstadt
www.lcee.de

Dieser Aufsatz wurde in einem Peer-Review-Verfahren begutachtet.

Eingereicht: 18. März 2024; angenommen: 28. März 2024.