



**LCEE** LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH



Bildnachweis: Zastrow + Zastrow stadtplaner | architekten

- ▶▶▶ Bauen mit Ziegel im Förderprogramm  
Klimafreundlicher Neubau
- ▶▶▶ ÖKOBILANZSTUDIE
- ▶▶▶ Muster-MFH

## Impressum

<b>Auftraggeber</b>	Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V. Reinhardtstraße 12-16 10117 Berlin
<b>Auftragnehmer</b>	LCEE Life Cycle Engineering Experts GmbH Birkenweg 24 64295 Darmstadt +49 6151 130986-0 <a href="http://www.LCEE.de">www.LCEE.de</a>   <a href="mailto:info@LCEE.de">info@LCEE.de</a>
<b>Verfasser</b>	Dr.-Ing. Sebastian Pohl   B.Eng. Oskar M. Wrese
<b>Datum</b>	17.01.2024   finale Fassung

## Inhaltsübersicht

<b>1</b>	<b>Aufgabenstellung</b>	<b>4</b>
1.1	Ausgangssituation	4
1.2	Zielsetzung	4
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>5</b>
2.1	Untersuchungsmethodik – Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 und 14044	5
2.1.1	Methodik im Allgemeinen	5
2.1.2	Phasen einer Ökobilanz	6
2.1.3	Darstellung ausgewählter Ökobilanz-Kriterien	7
2.2	Normen, Richtlinien und Verordnungen	8
2.3	Datengrundlage	8
<b>3</b>	<b>Ökobilanz Muster-MFH mit Außenwandkonstruktionen aus Ziegelverblendmauerwerk</b>	<b>9</b>
3.1	Untersuchungsrahmen	9
3.2	Varianten der Ökobilanzstudie	10
3.2.1	Basis des Muster-MFH	10
3.2.2	Varianten für das Mehrfamilienhaus	11
3.2.3	TGA-Anlagen	12
<b>4</b>	<b>Ergebnisse der Ökobilanz-Studie</b>	<b>13</b>
4.1	Ergebnisse der Variante Ziegelmauerwerk mit Kalksandstein (KS)	13
4.2	Ergebnisse der Varianten Ziegelverblendmauerwerk mit Ziegel (Z)	17
4.3	Fazit	21
<b>5</b>	<b>Literatur</b>	<b>22</b>

## 1 Aufgabenstellung

### 1.1 Ausgangssituation

Umwelt- und gesundheitsbezogene Informationen zu Bauprodukten und Bauwerken werden zunehmend sowohl von Bauherrn und Architekten als auch von Nutzern oder der interessierten/ betroffenen Öffentlichkeit nachgefragt. Hier sind vor allem die Baustoff- und Bauprodukthersteller gefordert, alle relevanten Daten in einem geeigneten Informationssystem und -rahmen bereitzustellen. Als Instrument hierfür stehen z.B. Ökobilanz-Studien zur Verfügung, die die Umweltwirkungen eines Bauprodukts oder Bauwerks auszuweisen in der Lage sind (vgl. Abschnitt 2.1).

Umweltwirkungen von Bauwerken und die Methodik der Ökobilanzierung sind in jüngster Zeit auch relevant im Kontext von öffentlichen Förderprogrammen für energieeffizientes und nachhaltiges Bauen, u.a. auch im Förderprogramm Klimafreundlicher Neubau (KfN) im Rahmen der Bundesförderung Energieeffiziente Gebäude (BEG).

### 1.2 Zielsetzung

Zweischalige Wandkonstruktionen mit Ziegelverblendmauerwerk zeichnen sich durch eine extrem lange Lebens- bzw. technische Nutzungsdauer aus. Der Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V. als Verband von Herstellern von Verblendziegeln strebt in diesem Kontext die Durchführung einer Ökobilanz-Studie nach ISO 14040 und 14044 für bestimmte Außenwandkonstruktionen mit Ziegelverblendmauerwerk eines repräsentativen Mehrfamilienhauses (Muster-MFH) an.

Ziel der Ökobilanz-Studie ist es herauszufinden, ob sich mit diesen Wandkonstruktionen die Anforderungen des o.g. Förderprogramms KfN hinsichtlich Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen auf Gesamtgebäudeebene und über den Gebäudelebenszyklus nach Bilanz- und Rechenregeln des Qualitätssiegels Nachhaltige Gebäude (QNG) einhalten lassen und entsprechende Bauvorhaben/ Projekte aus dem MFH-Bereich insofern grds. förderfähig sind.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Untersuchungsmethodik – Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 und 14044

#### 2.1.1 Methodik im Allgemeinen

Die Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 [1] und 14044 [2], die als Untersuchungsmethode für die vorliegende Studie herangezogen wurde, dient der Abschätzung der mit einem Produkt verbundenen Umweltaspekte und produktspezifischen potenziellen Umweltwirkungen.

Die Definition der Ökobilanz lautet bei Allen Astrup Jensen folgendermaßen:

*„Life-Cycle Assessment is a process to evaluate the environmental burdens associated with a product, process, or activity by identifying and quantifying energy and materials used and wastes released to the environment; to assess the impact of those energy and material uses and releases to the environment; and to identify and evaluate opportunities to affect environmental improvements. The assessment includes the entire life cycle of the product, process, or activity, encompassing extracting and processing raw materials; manufacturing, transportation and distribution; re-use, maintenance; recycling, and final disposal.*

*The Life-Cycle Assessment (LCA) addresses environmental impacts of the system under study in the area of ecological health, human health and resource depletion. It does not address economic considerations or social effects. ...“ [3]*

Ein Produkt kann hierbei eine Ware (wie z.B. ein Gebäude oder ein abgrenzbarer Bestandteil dessen), ein verfahrenstechnisches Hilfsmittel (wie z.B. die thermische Behandlung eines Betonfertigteils) oder eine Dienstleistung (wie z.B. ein Transportprozess) sein.

Die Methode der Ökobilanz besteht nach DIN EN ISO 14040 und 14044 aus den nachfolgenden Arbeitsschritten, die auch in Abb. 2-1 dargestellt sind:

- ▶ Festlegung des Zieles der Ökobilanz und des Untersuchungsrahmens
- ▶ Sachbilanz
- ▶ Wirkungsabschätzung
- ▶ Auswertung

Die einzelnen Schritte beeinflussen sich gegenseitig und sollten nicht getrennt voneinander betrachtet werden. Im Folgenden werden die einzelnen Bestandteile bzw. Phasen einer Ökobilanz detailliert erläutert.

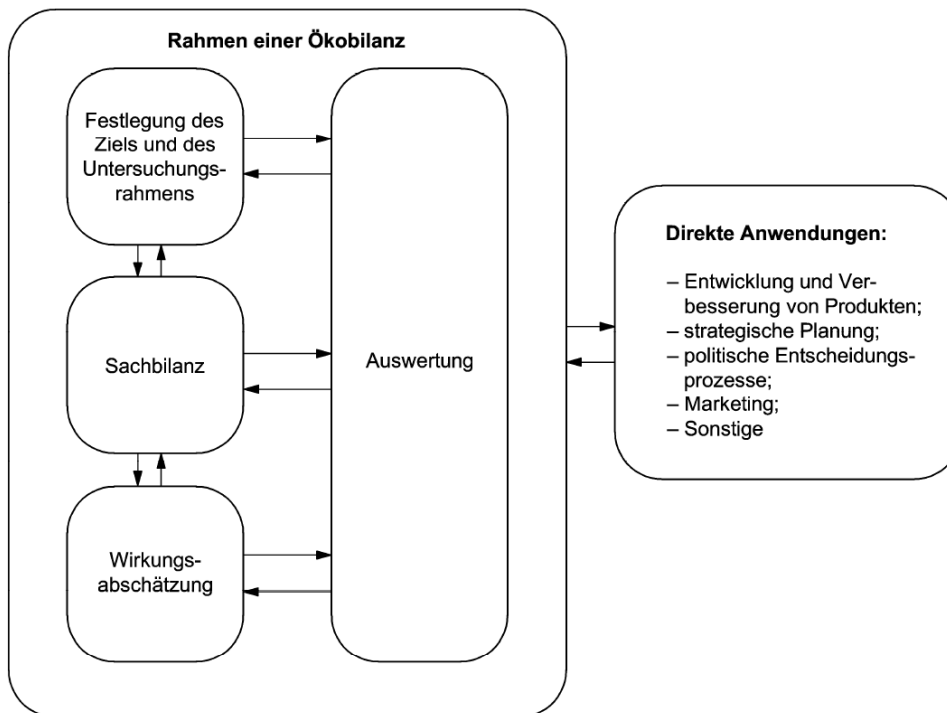


Abb. 2-1: Aufbau und Phasen einer Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 [1]

### 2.1.2 Phasen einer Ökobilanz

Der erste Arbeitsschritt der Ökobilanz (vgl. Abb. 2-1) besteht nach DIN EN ISO 14040 aus den zwei Teilabschnitten „Festlegung des Ziels“ und „Festlegung des Untersuchungsrahmens“. Die „Festlegung des Ziels“ umfasst hierbei Angaben zu den Gründen der Durchführung der Ökobilanz, sowie eine Definition des Adressaten der Untersuchung. Der ebenfalls festgelegte Untersuchungsrahmen besteht aus Angaben zur Systemgrenze, der funktionellen Einheit und Informationen zur Datenqualität. Die Systemgrenze definiert sich hierbei als der technische und geografische Erfassungsraum der Daten sowie der Zeitraum, über den die Ökobilanz erstellt wird. Idealerweise ist die Systemgrenze so gewählt, dass an ihren Grenzen nur noch Elementarflüsse als Input oder Output auftreten. Die Sicherstellung der Vergleichbarkeit von zwei oder mehreren Ökobilanzen erfordert die Festlegung einer funktionellen Einheit. Sie ist die Größe, auf die alle Input- und Outputströme bezogen werden. Vergleichbar sind zwei Ökobilanzen, wenn sie die gleiche Funktion erfüllen oder denselben Nutzen erzeugen und die identische Systemgrenze besitzen.

In der im zweiten Arbeitsschritt der Ökobilanz zu erstellenden Sachbilanz werden die Daten der Input- und Outputströme des Produktsystems gesammelt und quantifiziert. In dieser wird ein Bezug zwischen den Energie- sowie Stoffverbräuchen und der funktionellen Einheit hergestellt. Die Sachbilanz stellt die Grundlage für die spätere Wirkungsabschätzung dar.

Im Arbeitsschritt "Wirkungsabschätzung" werden aus den, in der Sachbilanz zusammengetragenen Daten Umweltauswirkungen abgeleitet. Hierzu werden die einzelnen, aus der Sachbilanz resultierenden Stoff- und Energieströme spezifischen, für die Untersuchung ausgewählten Kriterien zugeordnet (Klassifizierung) und gemäß ihres Beitrags zu mit dem Kriterium verbundenen Umweltwirkung gewichtet (Charakterisierung; vgl. Kapitel 2.1.3).

In dem die Ökobilanz abschließenden Arbeitsschritt „Auswertung“ werden die Ergebnisse der Studie dargestellt. Zudem erfolgt eine Beurteilung der Güte der Ökobilanz durch die Prüfung auf Vollständigkeit, Sensitivität und Konsistenz. Kontrolliert wird zudem die Übereinstimmung der Ergebnisse mit dem, in Arbeitsschritt 1 definierten Ziel, sowie dem Untersuchungsrahmen der Ökobilanz.

### 2.1.3 Darstellung ausgewählter Ökobilanz-Kriterien

Um Umweltwirkungen beschreiben und quantifizieren zu können, werden diese ökologischen Kriterien zugeordnet. Bei der Auswahl der Kriterien sind hierbei der Zweck der Studie sowie die im Vorfeld festgelegten Kenngrößen (hier als im Kontext der BEG-Förderung KfN relevant: Treibhauspotenzial/GWP sowie Nicht-erneuerbarer Primärenergiebedarf/PENRT) zu berücksichtigen. Im Folgenden wird die zuvor genannte Kenngröße beschrieben:

#### **Treibhauspotential (GWP) [in kg CO<sub>2</sub>-Äqu.]**

Das Treibhauspotential (Global Warming Potential), gemessen in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent, ist das massebezogene Äquivalent der Treibhauswirkung von Gasen. Ein Produkt mit einem niedrigen GWP-Wert verursacht nur geringe Emissionen an Gasen, die zum Treibhauseffekt beitragen. An dieser Stelle zu nennen sind z.B. CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O sowie SF<sub>6</sub>, PFC und HFC. Ihre Werte werden in Relation zur Treibhauswirkung von Kohlendioxid als CO<sub>2</sub> Äquivalent angegeben. Das Treibhauspotential ist aufgrund der Wirkungscharakteristik von Treibhausgasen und deren unterschiedlicher atmosphärischer Verweildauern ein zeitliches Integral für einen bestimmten Zeitraum. Daher ist bei der Kategorie Treibhauspotential stets der Bezugszeitraum – 25, 100 oder 500 Jahre – anzugeben. Für die vorliegende Studie beträgt der Bezugszeitraum der Klimawirkung 100 Jahre (GWP100) bei einer betrachteten Lebensdauer der Bauteile von 50 Jahren.

#### **Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PENRT) [in MJ oder kWh]**

Der nicht regenerierbare bzw. nicht erneuerbare Primärenergiebedarf eines Produktes ist die Summe aller nicht erneuerbaren primärenergetischen Aufwendungen, die im Zusammenhang mit der Herstellung, Nutzung und Entsorgung eines ökonomischen Gutes (Produkt oder Dienstleistung) entstehen bzw. diesem ursächlich zugewiesen werden.

Ein niedriger PENRT-Wert weist auf ein Produkt hin, für dessen Herstellung, Nutzung und Entsorgung nur wenig nicht erneuerbare Energie verbraucht wurde. Zu den nicht erneuerbaren Primärenergiequellen zählen u.a. Steinkohle, Braunkohle, Erdöl, Erdgas und Uran.

## 2.2 Normen, Richtlinien und Verordnungen

- ▶ DIN EN ISO 14040 [1] und DIN EN ISO 14044 [2]
- ▶ DIN EN 15804 [4]
- ▶ BNB Nutzungsdauern von Bauteilen (2017) [5]
- ▶ Leitfaden Nachhaltiges Bauen Version 2001 [6]
- ▶ LCA-Bilanzregeln Wohngebäude V 1.3 [7]

## 2.3 Datengrundlage

Folgende Daten, Dokumente und weitere Quellen waren für die Ökobilanz-Studie verfügbar:

- ▶ Festlegungen des Auftraggebers zu den zu untersuchenden Varianten des Muster-MFH hinsichtlich Außenwandkonstruktionen und Ziegelverblendmauerwerk (vgl. Abbildungen unter Abschnitt 3.2.2)
- ▶ GEG-Bericht des Muster-MFH für Endenergieverbrauch sowie PV-Strom Erzeugung
- ▶ QNG - Ökobilanzierung-Rechenwerte 2023 (Basiert auf der ÖkoBauDat 2020-II)
- ▶ Umweltproduktdeklarationen (EPDs) die für die Ökobilanz eingesetzt worden sind:
  1. UMWELT-PRODUKTDEKLARATION: Vormauerziegel, Pflasterziegel und Riemchen Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V. [8]
  2. UMWELT-PRODUKTDEKLARATION: Mauerziegel (mit Dämmstoff gefüllt) [9]
  3. UMWELT-PRODUKTDEKLARATION: Dachziegel (inklusive Zubehör) Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V. [10]



## 3 Ökobilanz Muster-MFH mit Außenwandkonstruktionen aus Ziegelverblendmauerwerk

### 3.1 Untersuchungsrahmen

Ziel der vorliegenden Studie ist die Beantwortung der Frage, ob sich mit massiven Wandkonstruktionen aus Ziegelverblendmauerwerk die Anforderungen des o.g. Förderprogramms KfN hinsichtlich nicht-erneuerbarem Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen auf Gesamtgebäudeebene und über den Gebäudelebenszyklus nach Bilanz- und Rechenregeln des Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude (QNG) einhalten lassen und entsprechende Bauvorhaben/ Projekte aus dem MFH-Bereich insofern grds. förderfähig sind.

Die Systemgrenze der Betrachtung umfasst dabei erstens den gesamten Herstellungsprozess des untersuchten MFH. Im Rahmen dieser Betrachtung werden die Prozesse zur Herstellung, also Rohstoffgewinnung, Transporte der Rohstoffe zum Produktionsort und die Produktionsprozesse betrachtet (Module A1 bis A3).

Die Systemgrenze umfasst zweitens auch das Nutzungsstadium sowohl der Außenwandbauteile als auch aller anderen konstruktiven und relevanten anlagentechnischen Komponenten des Muster-MFH (hier: Modul B4), den Einsatz von Energie in der Nutzungsphase (Endenergieverbrauch nach Energieausweis sowie  $20 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{NRF, beh.}} \cdot \text{a})$  Nutzerstrom nach QNG-Regelung (B6)) sowie das Entsorgungsstadium der gesamten Gebäudekonstruktion und -anlagentechnik (hier: Module C3 und C4) und ergänzend Gutschriften/ Lasten außerhalb der Systemgrenze (Modul D).

Aus zeitlicher Perspektive wird ein Gebäudelebenszyklus von 50 Jahren betrachtet, was der Konvention gemäß Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen bzw. des QNG (Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude) für den Betrachtungszeitraum für Nachhaltigkeitsbewertungen u.a. von Wohngebäuden entspricht.

Insofern liegt in Summe eine lebenszyklusorientierte Ökobilanzierung vor, wobei die verschiedenen Varianten des Muster-MFH als (vor allem auch energetisch – im Sinne von grds. identischen U-Werten) funktionale Äquivalente konfiguriert sind.

## 3.2 Varianten der Ökobilanzstudie

### 3.2.1 Basis des Muster-MFH

Die Ökobilanzstudie wird für das Muster-MFH gemäß Abb. 3-1 (als exemplarische Planungsunterlagen) durchgeführt. Das Gebäude hält die Anforderungen des Energiestandards KfW40 ein. Für das Muster-MFH liegt eine vollständige GEG-Berechnung nach DIN V 15899 inkl. Bestimmung und Ausweis der monatsweisen Erzeugung und Eigennutzung von Solarstrom vor. Das Gebäude besteht in den Außenwänden, je nach Variante, aus Kalksandstein bzw. Mauerziegeln (Dämmstoff-gefüllt). Die Innenwände bestehen aus massiven Innenwänden (Ziegeln), die Decken aus einer schweren Betonkonstruktion. Das Gebäude ist teilweise unterkellert und der Keller (unbeheizt) wurde in der ökobilanziellen Rechnung erfasst.



Gebäudedaten: BGF: 3229,3 m<sup>2</sup> | Nutzfläche nach GEG: 1033,4 m<sup>2</sup> | Nettoraumfläche (DIN 277): 1159,12 m<sup>2</sup>

Abb. 3-1: Ansicht, Schnitt, Grundrisse und Daten zu Muster-MFH (Quelle: Urban Thiesen Architekten PartGmbH & Wankendorfer Baugenossenschaft für Schleswig-Holstein eG)

### 3.2.2 Varianten für das Mehrfamilienhaus

In Abstimmung mit dem Auftraggeber werden folgende Ausführungsvarianten an Außenwandkonstruktionen mit Verblendmauerwerk in der Ökobilanzstudie des Muster-MFH abgebildet (siehe auch Abb. 3-2 f.):

- ▶ als tragende Innenschalen (in Summe 2)
  - Mauerwerk Kalksandstein (Kürzel KS)
  - Mauerwerk Ziegel gefüllt (Kürzel Z)
- ▶ Kerndämmung Mineralwolle mit Dämmstärke 0,2 m
- ▶ Ziegelverblendmauerwerk aus Vormauerziegel der Stärke 0,115 m
- ▶ jede konstruktive Variante wird in zwei Varianten bzgl. ökobilanzieller Basisdaten wie folgt modelliert und bilanziert
  - Variante KS mit formellen QNG-LCA-Basisdaten (Kürzel QNG)
  - Variante KS mit aktuellen EPD-Daten für Porenbeton und Vormauerziegel (siehe Abschnitt 2.3) (Kürzel QNG+EPD)
  - Variante Z mit formellen QNG-LCA-Basisdaten (Kürzel QNG)
  - Variante Z mit aktuellen EPD-Daten für Ziegelmauerwerk und Vormauerziegel (siehe Abschnitt 2.3) (Kürzel QNG+EPD)

Eine quantifizierte Betrachtung unterschiedlicher zeitlicher Perspektiven etwa in Form eines auf 80 oder 100 Jahre ausgedehnten Betrachtungszeitraums und Gebäudelebenszyklus erfolgt in vorliegender Studie nicht (siehe dazu aber qualitative Aussagen unter Abschnitt 4.3).

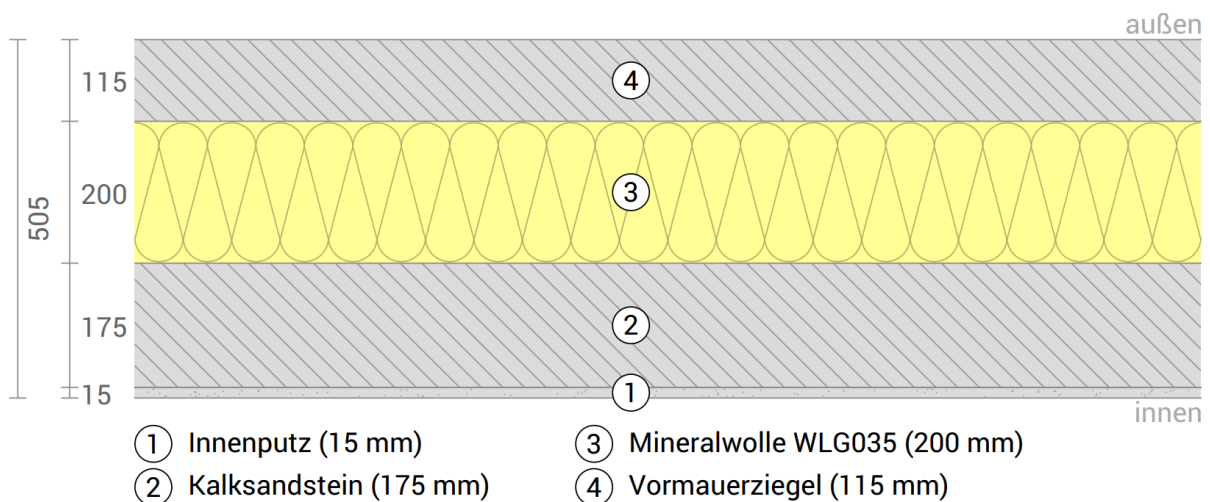


Abb. 3-2: Konfiguration Außenwand Kalksandstein-Variante

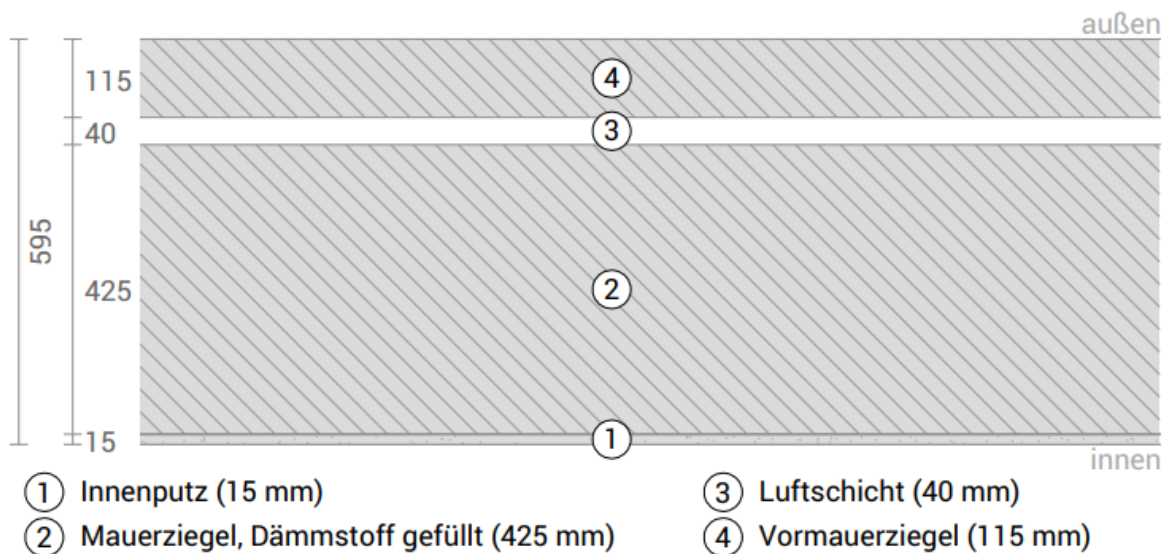


Abb. 3-3: Konfiguration Außenwand Ziegel (Dämmstoff gefüllt) -Variante

Aufgrund der unterschiedlichen Wanddicke wurde für die ökobilanziellen Berechnungen davon ausgegangen, dass die beheizte NGF sowie die NRF gleichbleiben. Die BGF des Gebäudes ist demzufolge für die Variante mit gefülltem Ziegel größer.

### 3.2.3 TGA-Anlagen

Gemäß QNG-Rechenregeln (Anhangdokument 3.1.1 LCA-Bilanzregeln Wohngebäude) wurden auch die eingebauten TGA-Anlagen in die ökobilanzielle Betrachtung mitaufgenommen. Die erfassten Anlagen sind die Wärmeerzeugungsanlagen (Rohre für Wärmepumpe sowie die Wärmepumpe an sich), der eingebaute Fahrstuhl sowie die Eigenversorgungsanlagen (Photovoltaiksystem auf dem Dach). Die PV-Anlage besitzt eine Größe von 80 m<sup>2</sup>. Alle übrigen Bauteile, die zur Kostengruppe 400 gehören, wurden über den QNG-eigenen Sockelbetrag abgedeckt.

## 4 Ergebnisse der Ökobilanz-Studie

### 4.1 Ergebnisse der Variante Ziegelmauerwerk mit Kalksandstein (KS)

Abb. 4-1 bis Abb. 4-4 bzw. Tab. 4-1 zeigt die Ergebnisse der beiden Datenbasis-Varianten der Konstruktionsvariante Ziegel-Verblendmauerwerk mit Kalksandstein für den maßgeblichen Betrachtungszeitraum 50 Jahre.

Folgende Kernergebnisse lassen sich konstatieren:

- ▶ Umweltwirkungen bzw. CO<sub>2</sub>-Äquivalente und Primärenergiebedarf nicht erneuerbar des End of Life und des Modul D sowie für Austausch (Erneuerung) spielen gegenüber den dominanten Werten für die Herstellungsphase und den Gebäudebetrieb/ Nutzungsphase nur eine untergeordnete Rolle.
- ▶ Die Ausführungsvarianten unterscheiden sich nur auf Grund der Datensätze der verwendeten Baustoffe. Die Ergebnisse des Lebensabschnittes B6 sind sachlogisch richtig identisch.
- ▶ Durch die Nutzung der EPD-spezifischen Datensätze kommt es zu einer geringfügigen Reduktion der CO<sub>2</sub>-Äquivalenzergebnisse.
- ▶ Die Ergebnisse der Herstellungsphase werden dabei jeweils von den Wand- und Deckenkonstruktionen dominiert. Beim Global Warming Potential (GWP) beträgt der Anteil der Außenwand 34%, der der Geschossdecken 30%. Beim nicht-erneuerbaren Primärenergiebedarf beträgt der Anteil der Außenwand 36%, der der Geschossdecken 22%.
- ▶ Insgesamt werden die Anforderungswerte der BEG-Förderung bzw. Förderung KfN für CO<sub>2</sub>-Äquivalente (max. 24 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent / (m<sup>2</sup><sub>NRF</sub>\*a)) und für Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (max. 96 kWh / (m<sup>2</sup><sub>NRF</sub>\*a)) bereits von der Datenbasis-Variante QNG mit formellen QNG-LCA-Basisdaten deutlich eingehalten.

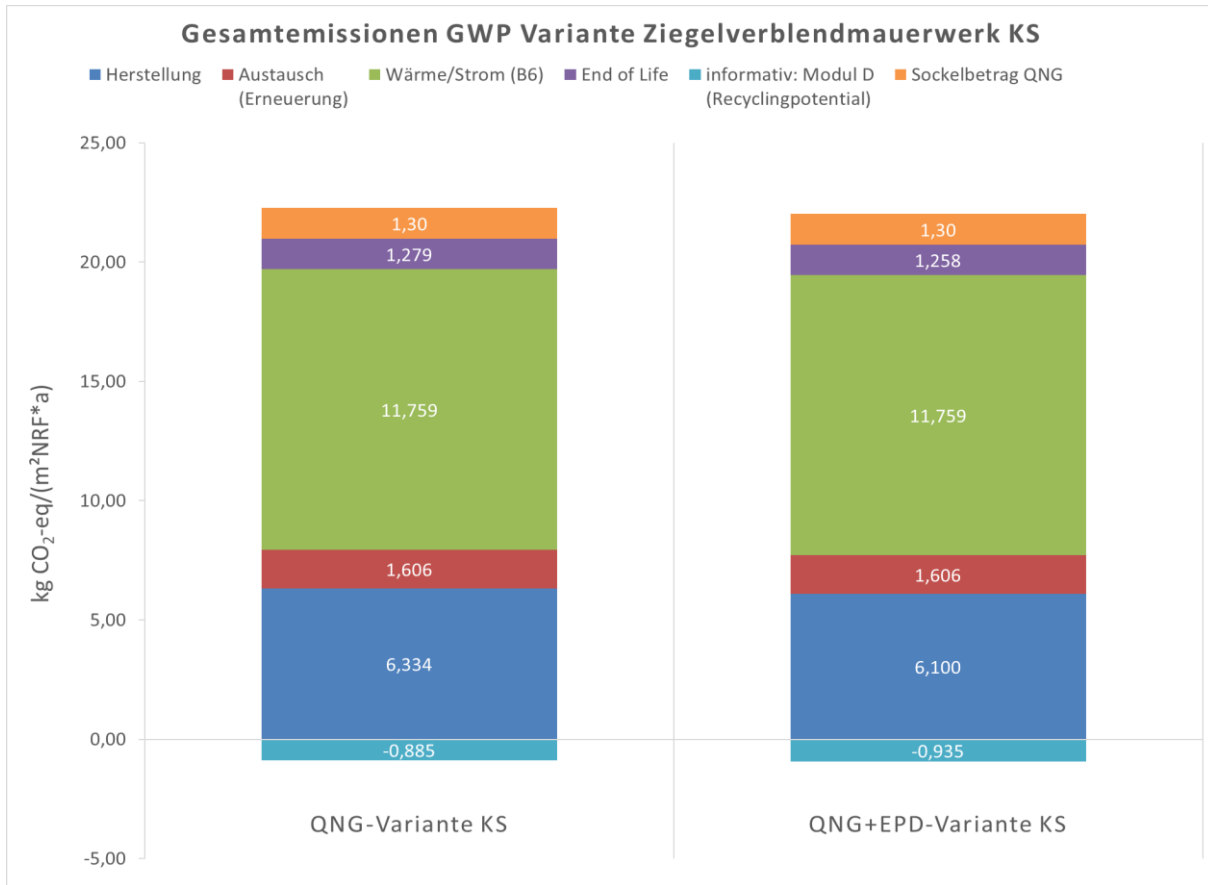


Abb. 4-1: Gesamtergebnisse Variante Ziegelverblendmauerwerk KS für CO<sub>2</sub>-Äquivalente

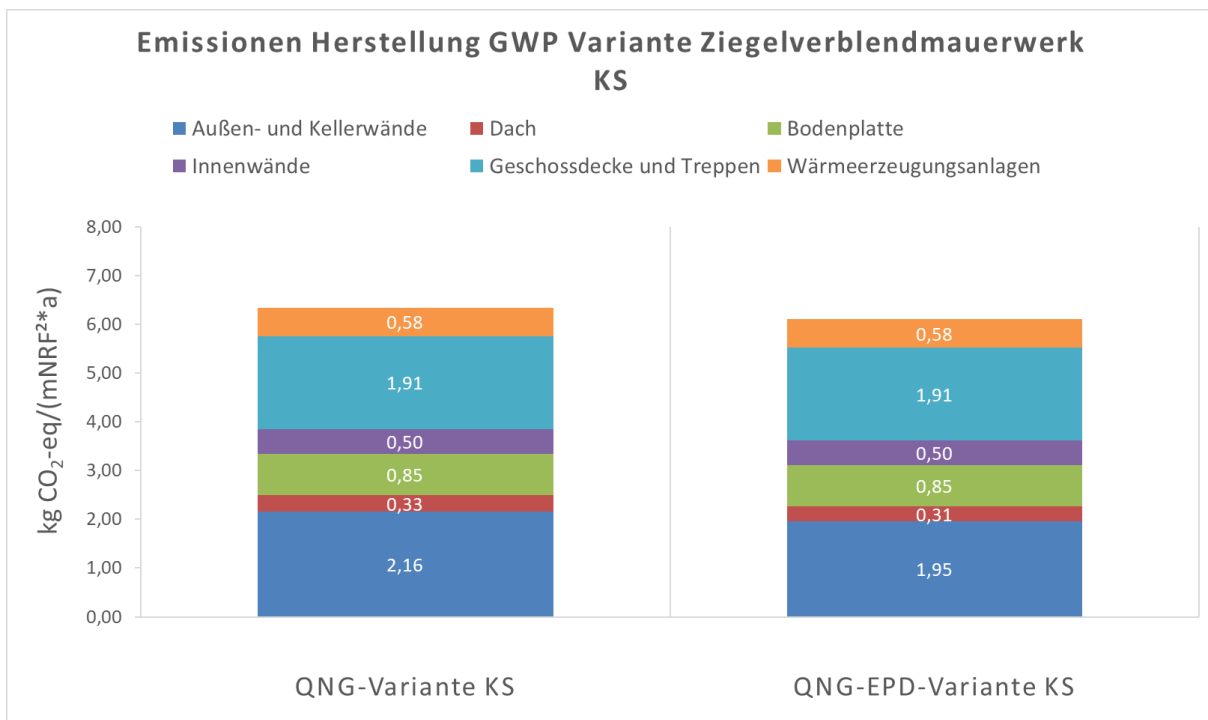


Abb. 4-2: Ergebnisse Herstellungsphase Variante Ziegelverblendmauerwerk KS für CO<sub>2</sub>-Äquivalente

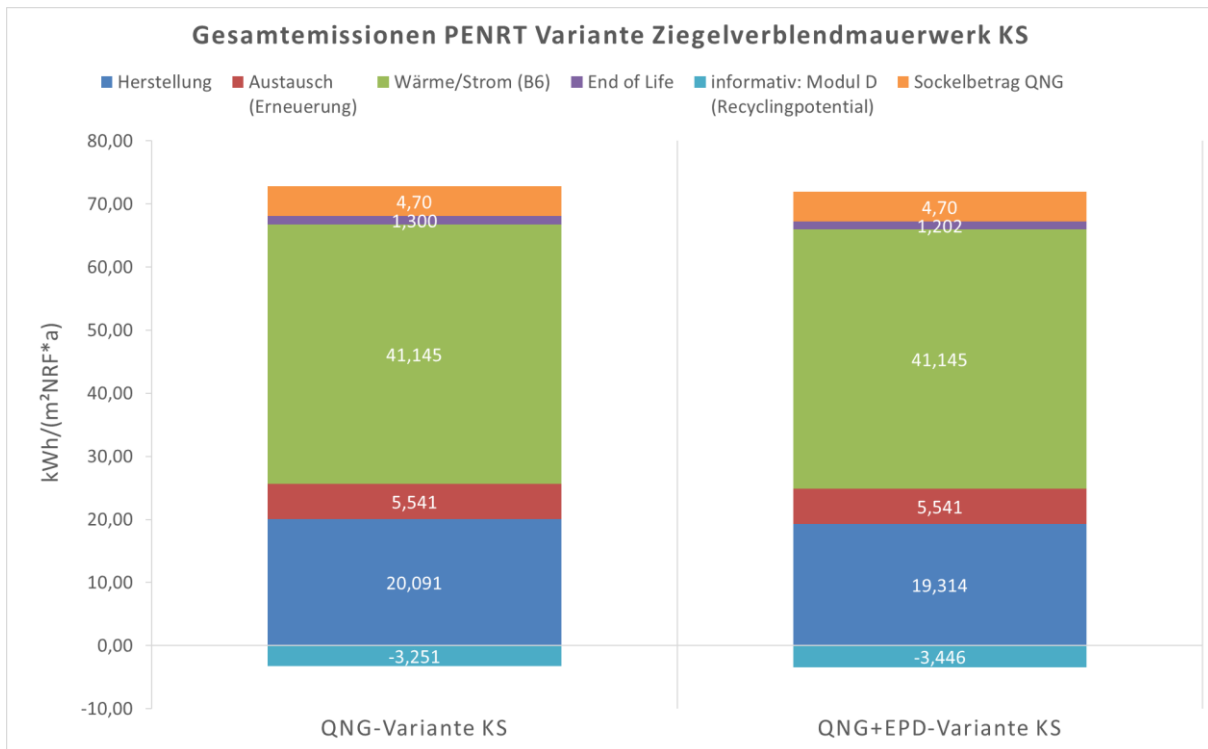


Abb. 4-3: Gesamtergebnisse Variante Ziegelverblendmauerwerk KS für PE nicht erneuerbar

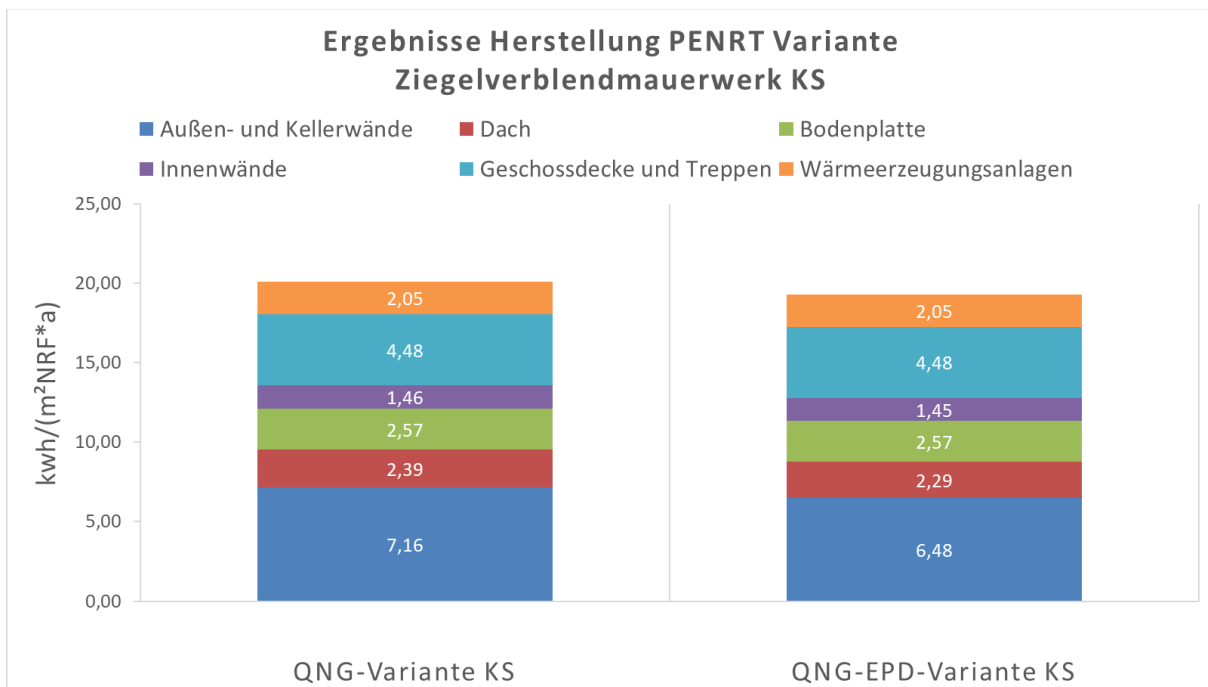


Abb. 4-4: Ergebnisse Herstellungsphase Variante Ziegelverblendmauerwerk KS für PE nicht erneuerbar

Tab. 4-1: Ergebnisse (tabellarisch) Varianten Ziegelverblendmauerwerk KS

CO <sub>2</sub> -Äquivalente in kg pro m <sup>2</sup> NRF und Jahr							
*) für MFH und über gesamten Lebenszyklus von 50 Jahren							
Varianten	Lebenszyklusphasen						
	Herstellung	Austausch (Erneuerung)	Wärme/Strom (B6)	End of Life	informativ: Modul D (Recyclingpotential)	Sockelbetrag QNG	Summe Lebenszyklus (ohne Modul D)
QNG-Variante KS	6,334	1,606	11,759	1,279	-0,885	1,30	22,279
QNG+EPD-Variante KS	6,100	1,606	11,759	1,258	-0,935	1,30	22,023
PENRT (kWh) pro m <sup>2</sup> NRF und Jahr							
*) für MFH und über gesamten Lebenszyklus von 50 Jahren							
Varianten	Lebenszyklusphasen						
	Herstellung	Austausch (Erneuerung)	Wärme/Strom (B6)	End of Life	informativ: Modul D (Recyclingpotential)	Sockelbetrag QNG	Summe Lebenszyklus (ohne Modul D)
QNG-Variante KS	20,091	5,541	41,145	1,300	-3,251	4,70	72,777
QNG+EPD-Variante KS	19,314	5,541	41,145	1,202	-3,446	4,70	71,901
CO <sub>2</sub> -Äquivalente in kg pro m <sup>2</sup> NRF und Jahr							
*) für MFH Herstellungsphase							
Varianten	Bauteilkategorien						
	Außen- und Kellerwände	Dach	Bodenplatte	Innenwände	Geschossdecke und Treppen	Wärmeerzeugungsanlagen	Summe Herstellung
QNG-Variante KS	2,160	0,332	0,853	0,502	1,910	0,58	6,334
QNG+EPD-Variante KS	1,954	0,306	0,853	0,499	1,910	0,58	6,100
PENRT (kWh) pro m <sup>2</sup> NRF und Jahr							
*) für MFH Herstellungsphase							
Varianten	Bauteilkategorien						
	Außen- und Kellerwände	Dach	Bodenplatte	Innenwände	Geschossdecke und Treppen	Wärmeerzeugungsanlagen	Summe Herstellung
QNG-Variante KS	7,156	2,389	2,566	1,457	4,475	2,05	20,091
QNG+EPD-Variante KS	6,484	2,288	2,566	1,452	4,475	2,05	19,314



## 4.2 Ergebnisse der Varianten Ziegelverblendmauerwerk mit Ziegel (Z)

Abb. 4-5 bis Abb. 4-8 bzw. Tab. 4-2 zeigt die Ergebnisse der beiden Datenbasis-Varianten der Konstruktionsvariante Ziegel-Verblendmauerwerk mit Ziegel für den maßgeblichen Betrachtungszeitraum 50 Jahre.

Folgende Kernergebnisse lassen sich konstatieren:

- ▶ Umweltwirkungen bzw. CO<sub>2</sub>-Äquivalente und Primärenergiebedarf nicht erneuerbar des End of Life und des Modul D sowie für Austausch (Erneuerung) spielen gegenüber den dominanten Werten für die Herstellungsphase und den Gebäudebetrieb/ Nutzungsphase nur eine untergeordnete Rolle.
- ▶ Die Ausführungsvarianten unterscheiden sich nur auf Grund der Datensätze der verwendeten Baustoffe. Die Ergebnisse des Lebensabschnittes B6 sind sachlogisch richtig identisch.
- ▶ Durch die Nutzung der EPD-spezifischen Datensätze kommt es zu einer geringfügigen Reduktion der CO<sub>2</sub>-Äquivalenzergebnisse.
- ▶ Die Ergebnisse der Herstellungsphase werden dabei jeweils von den Wand- und Deckenkonstruktionen dominiert. Beim Global Warming Potential (GWP) beträgt der Anteil der Außenwand 32%, der der Geschossdecken 31%. Beim nicht-erneuerbaren Primärenergiebedarf beträgt der Anteil der Außenwand 34%, der der Geschossdecken 23%.
- ▶ Insgesamt werden die Anforderungswerte der BEG-Förderung bzw. Förderung KfN für CO<sub>2</sub>-Äquivalente (max. 24 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent / (m<sup>2</sup><sub>NRF</sub>\*a)) und für Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (max. 96 kWh / (m<sup>2</sup><sub>NRF</sub>\*a)) bereits von der Datenbasis-Variante QNG mit formellen QNG-LCA-Basisdaten deutlich eingehalten.

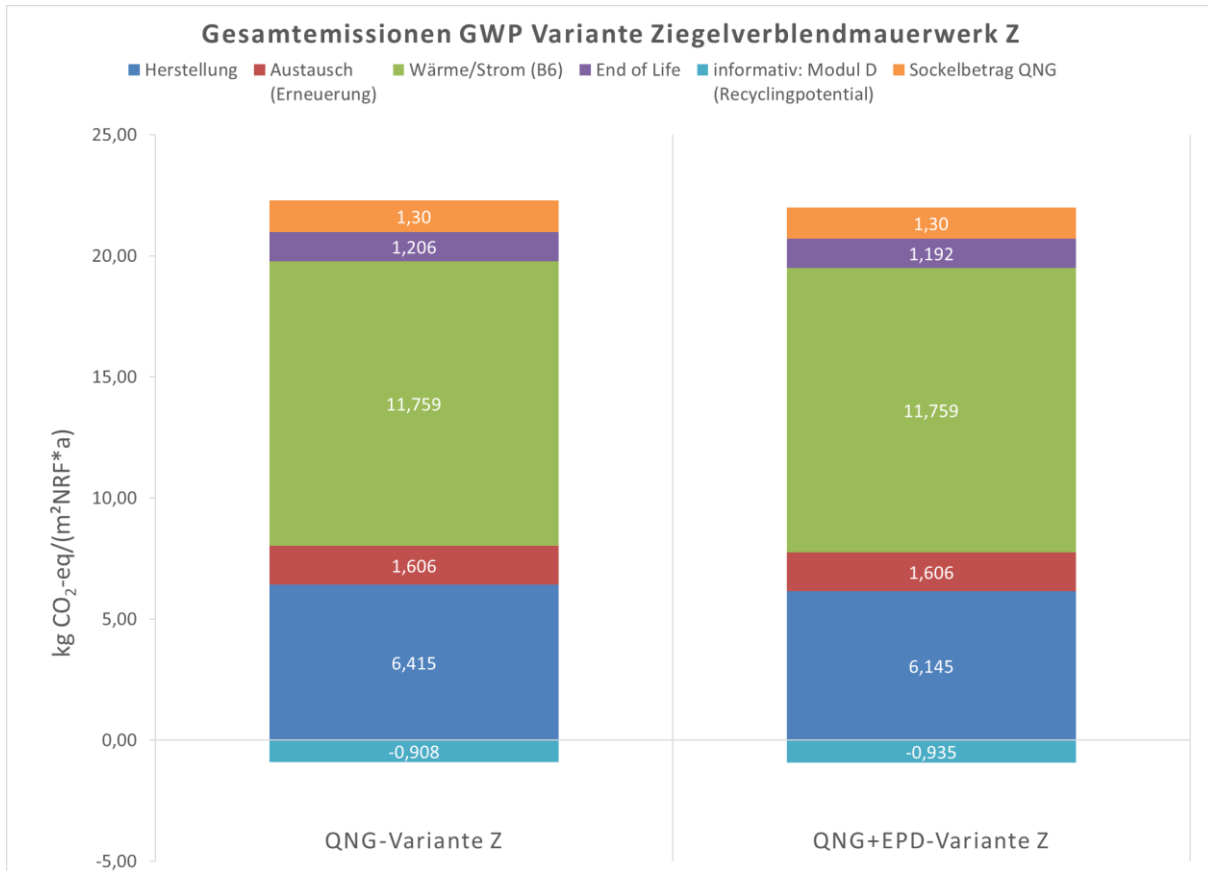


Abb. 4-5: Gesamtergebnisse Variante Ziegelverblendmauerwerk Z für CO<sub>2</sub>-Äquivalente

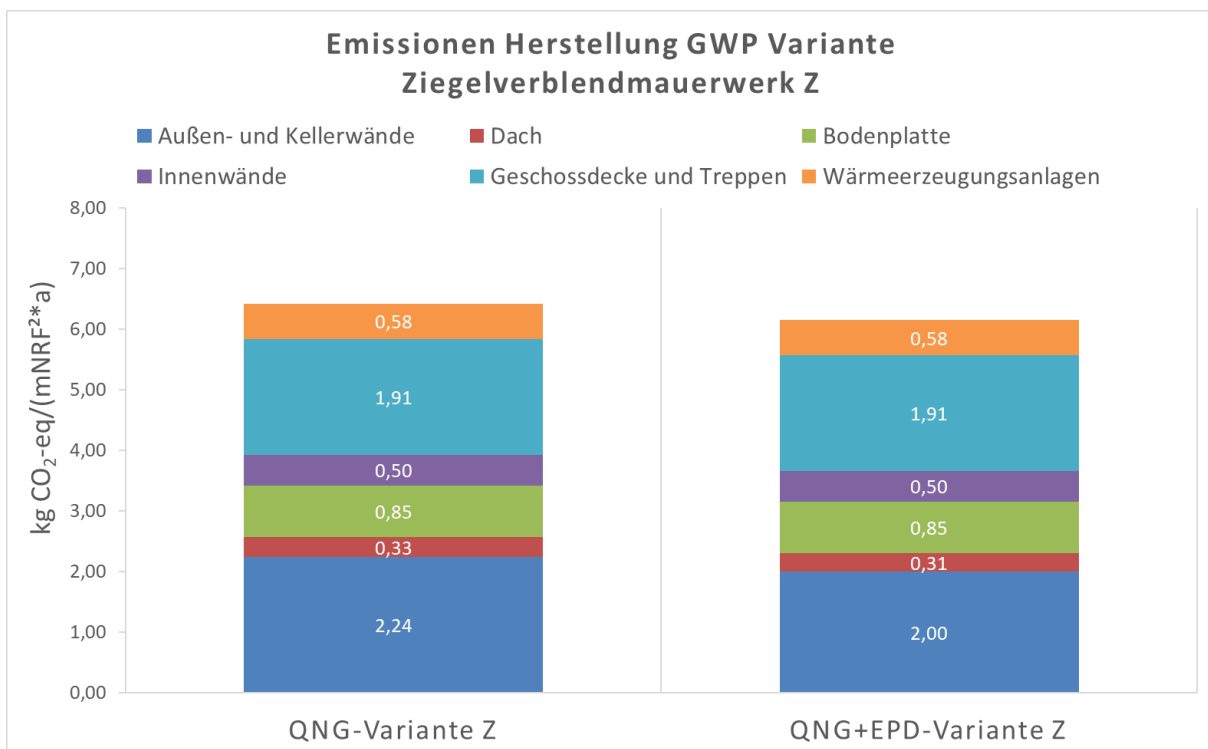


Abb. 4-6: Ergebnisse Herstellungsphase Variante Ziegelverblendmauerwerk Z für CO<sub>2</sub>-Äquivalente

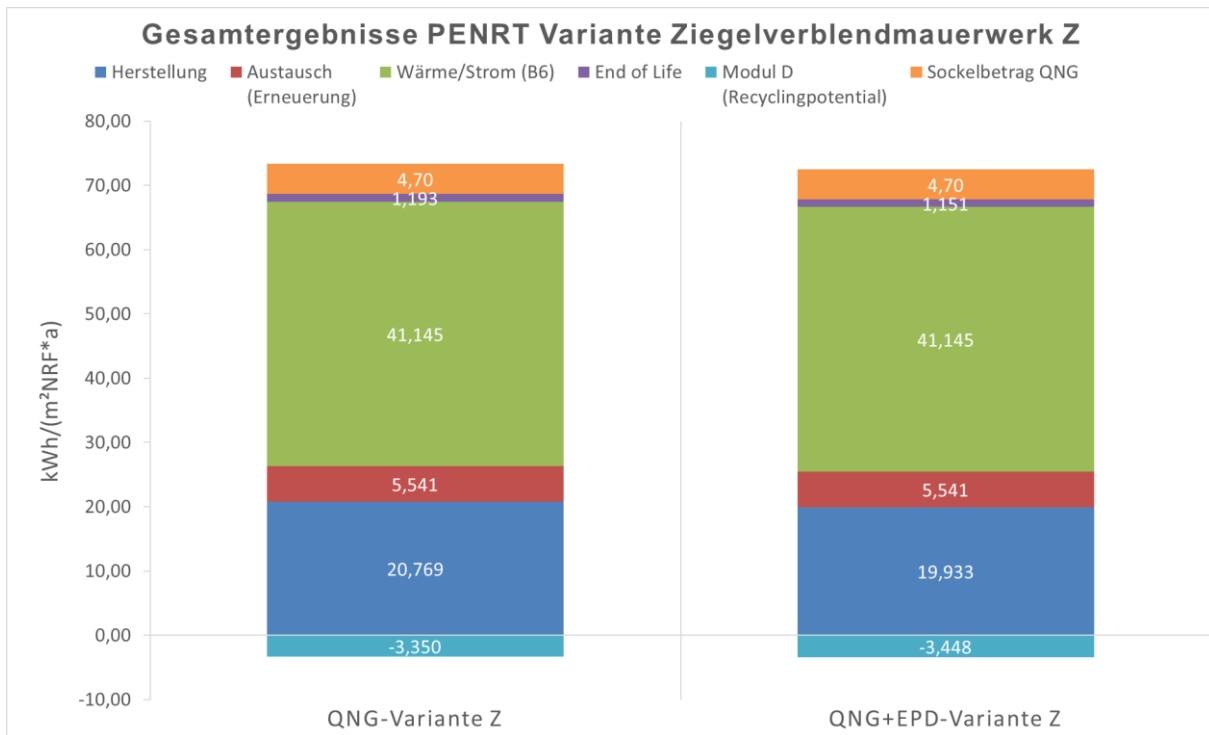


Abb. 4-7: Gesamtergebnisse Variante Ziegelverblendmauerwerk Z für PE nicht erneuerbar

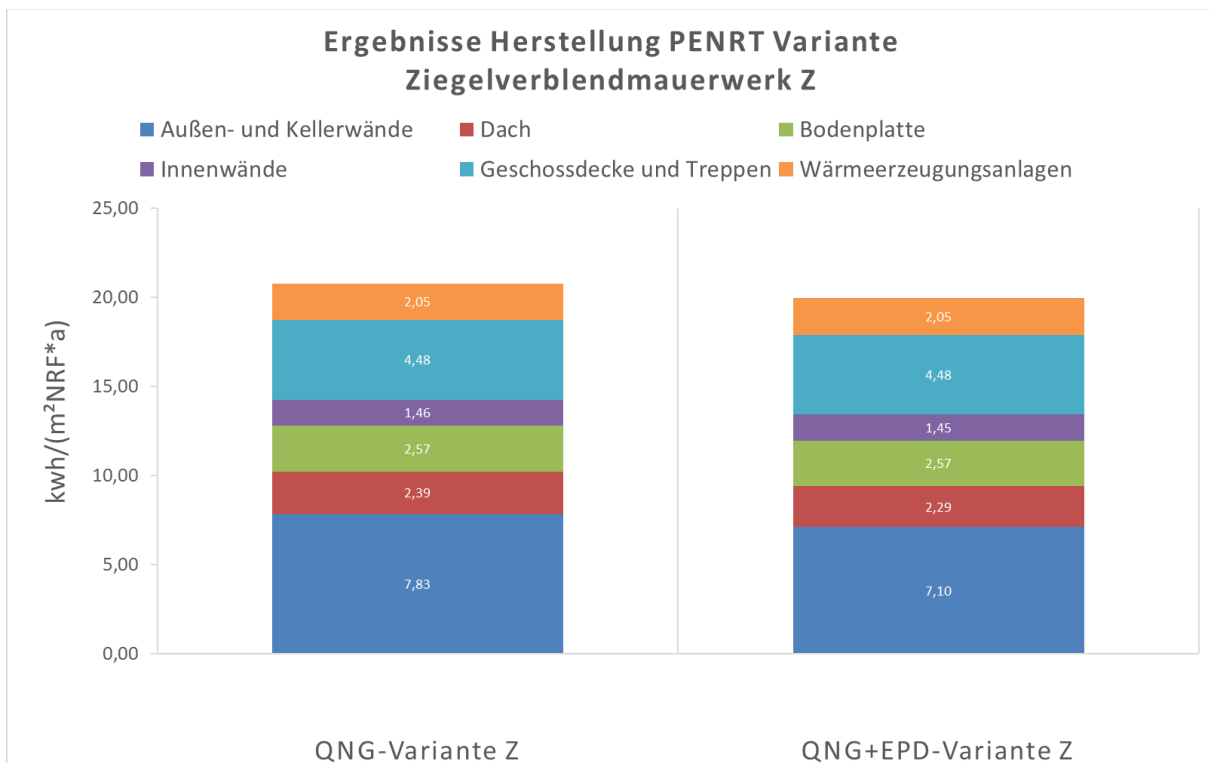


Abb. 4-8: Ergebnisse Herstellungsphase Variante Ziegelverblendmauerwerk Z für PE nicht erneuerbar

Tab. 4-2: Ergebnisse (tabellarisch) Varianten Ziegelverblendmauerwerk Z

CO <sub>2</sub> -Äquivalente in kg pro m <sup>2</sup> NRF und Jahr							
*) für MFH und über gesamten Lebenszyklus von 50 Jahren							
Varianten	Lebenszyklusphasen						
	Herstellung	Austausch (Erneuerung)	Wärme/Strom (B6)	End of Life	informativ: Modul D (Recyclingpotential)	Sockelbetrag QNG	Summe Lebenszyklus (ohne Modul D)
QNG-Variante Z	6,415	1,606	11,759	1,206	-0,908	1,30	22,286
QNG+EPD-Variante Z	6,145	1,606	11,759	1,192	-0,935	1,30	22,002
PENRT (kWh) pro m <sup>2</sup> NRF und Jahr							
*) für MFH und über gesamten Lebenszyklus von 50 Jahren							
Varianten	Lebenszyklusphasen						
	Herstellung	Austausch (Erneuerung)	Wärme/Strom (B6)	End of Life	informativ: Modul D (Recyclingpotential)	Sockelbetrag QNG	Summe Lebenszyklus (ohne Modul D)
QNG-Variante Z	20,769	5,541	41,145	1,193	-3,350	4,70	73,348
QNG+EPD-Variante Z	19,933	5,541	41,145	1,151	-3,448	4,70	72,471
CO <sub>2</sub> -Äquivalente in kg pro m <sup>2</sup> NRF und Jahr							
*) für MFH Herstellungsphase							
Varianten	Bauteilkategorien						
	Außen- und Kellerwände	Dach	Bodenplatte	Innenwände	Geschossdecke und Treppen	Wärmeerzeugungsanlagen	Summe Herstellung
QNG-Variante Z	2,240	0,332	0,853	0,502	1,910	0,58	6,415
QNG+EPD-Variante Z	1,999	0,306	0,853	0,499	1,910	0,58	6,145
PENRT (kWh) pro m <sup>2</sup> NRF und Jahr							
*) für MFH Herstellungsphase							
Varianten	Bauteilkategorien						
	Außen- und Kellerwände	Dach	Bodenplatte	Innenwände	Geschossdecke und Treppen	Wärmeerzeugungsanlagen	Summe Herstellung
QNG-Variante Z	7,834	2,389	2,566	1,457	4,475	2,05	20,769
QNG+EPD-Variante Z	7,104	2,288	2,566	1,452	4,475	2,05	19,933

### 4.3 Fazit

Als wesentliches Fazit der vorliegenden Ökobilanzstudie des Muster-MFH lässt sich festhalten, dass bereits beide Ausführungsvarianten (Ziegelverblendmauerwerk mit Kalksandstein respektive Ziegel) in der Konfiguration mit QNG-LCA-Basisdaten die Anforderungen der hier maßgeblichen Förderprogramme BEG bzw. KfN bzgl. Treibhausgasemissionen (CO<sub>2</sub>-Äquivalente) und Primärenergiebedarf nicht erneuerbar erkennbar einhalten.

In der Konfiguration mit EPD-Datensätzen gemäß Abschnitt 2.3 sind die Ergebnisse für beide Ausführungsvarianten darüber hinaus noch etwas geringer bzw. die Anforderungen BEG/ KfN werden noch etwas deutlicher erfüllt, weil die verwendeten EPD-Daten niedrigere Umweltwirkungen ausweisen als die generischen QNG-LCA-Basisdaten.

Mit Blick auf ausgeweitete Betrachtungszeiträume bzw. Lebenszyklusansätze von 80 oder 100 Jahren, die für extrem langlebige Konstruktionen wie zweischalige Außenwände mit Ziegelverblendmauerwerk realistisch sind, lässt sich zudem qualitativ festhalten, dass die Ökobilanz-Ergebnisse dann nochmals niedriger wären, weil

- ▶ die Umweltwirkungen der Herstellungsphase auf längere Zeiträume verteilt werden,
- ▶ keine (weiteren) Umweltwirkungen aus dem Lebenszyklusmodul Austausch (Erneuerung) hinzukommen und
- ▶ die Ergebnisse der Nutzungs-/ Betriebsphase ohnehin schon pro Jahr skaliert sind und eine Betrachtung von 80 oder 100 Jahren hier keinen Effekt auf die Ergebnisse pro m<sup>2</sup> und Jahr haben kann.

Weitere Varianten für die Außenwandkonstruktionen wurden im Rahmen dieser Studie nicht rechnerisch ermittelt, würden jedoch in Ihrer Tendenz keine signifikant anderen Ergebnisse liefern. Im Zuge einer weiteren Dematerialisierung der Vormauerschale (Vormauerziegel mit  $d < 11,5\text{cm}$ ) [11] fallen die Ergebnisse der Ökobilanz noch einmal niedriger aus.

## 5 Literatur

- [1] DIN EN ISO 14040:2021-02: Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006 + Amd 1:2020); Deutsche Fassung EN ISO 14040:2006 + A1:2020
- [2] DIN EN ISO 14044:2021-02: Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006 + Amd 1:2017 + Amd 2:2020); Deutsche Fassung EN ISO 14044:2006 + A1:2018 + A2:2020
- [3] Jensen, A. A. et al.: Working Environment in Life-Cycle Assessment, Pensacola 2004
- [4] DIN EN 15804: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; Deutsche Fassung EN 15804:2012 + A1:2013
- [5] BMWSB [Hrsg.]: BNB Nutzungsdauern von Bauteilen (2017), Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, online unter:  
<https://www.nachhaltigesbauen.de/austausch/nutzungsdauern-von-bauteilen/>
- [6] BBR [Hrsg.]: Leitfaden Nachhaltiges Bauen, Stand Januar 2001, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, online unter:  
[https://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/PDF\\_Leitfaden\\_Nachhaltiges\\_Bauen/Leitfaden.pdf](https://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/PDF_Leitfaden_Nachhaltiges_Bauen/Leitfaden.pdf)
- [7] BMWSB [Hrsg.]: QNG-Siegeldokumente inkl. ökobilanzielle Bilanz- und Rechenregeln; online unter:  
<https://www.qng.info/qng/qng-anforderungen/qng-siegeldokumente/>
- [8] UMWELT-PRODUKTDEKLARATION: Vormauerziegel, Pflasterziegel und Riemchen Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V ; online unter:  
<https://epd-online.com/EmbeddedEpdList/Download?id=14643>
- [9] UMWELT-PRODUKTDEKLARATION: Porenbeton Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V.; online unter: <https://epd-online.com/EmbeddedEpdList/Download?id=14392>
- [10] UMWELT-PRODUKTDEKLARATION: Dachziegel (inklusive Zubehör) Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V. ; online unter: <https://epd-online.com/EmbeddedEpdList/Download?id=15322>
- [11] Geres, R. (FutureCamp Climate GmbH) (2021): Roadmap für eine treibhausgasneutrale Ziegelindustrie in Deutschland – Ein Weg zur Klimaneutralität der Branche bis 2050. Hrsg. Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V., Berlin