



LCEE LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH



▶▶▶ Zweischalige Außenwandkonstruktionen
mit Ziegelverblendmauerwerk

▶▶▶ ÖKOBILANZSTUDIE

Bildnachweis: Fachverband Ziegelindustrie Nord e.V.

Impressum

Auftraggeber	Fachverband Ziegelindustrie Nord e.V. Bahnhofsplatz 2A 26122 Oldenburg
Auftragnehmer	LCEE Life Cycle Engineering Experts GmbH Birkenweg 24 64295 Darmstadt +49 6151 130986-0 www.LCEE.de info@LCEE.de
Verfasser	Dr.-Ing. Sebastian Pohl B.Eng. Oskar M. Wrese
Datum	29.11.2023 Rev. B

Inhaltsübersicht

1	Executive Summary Wesentliche Ergebnisse	5
2	Aufgabenstellung	7
2.1	Ausgangssituation	7
2.2	Zielsetzung	7
3	Grundlagen	8
3.1	Untersuchungsmethodik – Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 und 14044	8
3.1.1	Methodik im Allgemeinen	8
3.1.2	Phasen einer Ökobilanz	9
3.1.3	Darstellung ausgewählter Ökobilanz-Kriterien	10
3.2	Normen, Richtlinien und Verordnungen	11
3.3	Datengrundlage	11
4	Ökobilanz von Außenwandkonstruktionen Ziegelverblend-mauerwerk und Wärmedämmverbundsystem (WDVS)	12
4.1	Untersuchungsrahmen	12
4.2	Bauteil-Varianten der Ökobilanzstudie	12
4.2.1	Varianten für Ziegelverblendmauerwerk	12
4.2.2	Varianten für Vergleichskonstruktion als Wärmedämmverbundsystem	13
4.2.3	Varianten für Vergleichskonstruktionen als Holzständerkonstruktion mit Holzverschalung	13
4.2.4	Varianten für Lebenszyklusszenarien	16
5	Ergebnisse der Ökobilanz-Studie	18
5.1	Ergebnisse der Varianten Ziegelverblendmauerwerk	18
5.1.1	Ergebnisse der Varianten für Ziegelverblendmauerwerk mit Kalksandstein	18
5.1.2	Ergebnisse der Varianten für Ziegelverblendmauerwerk mit Porenbeton	21
5.1.3	Ergebnisse der Varianten für Ziegelverblendmauerwerk mit Ziegel ungefüllt	24
5.1.4	Ergebnisse der Varianten für Ziegelverblendmauerwerk mit Stahlbeton	27
5.1.5	Ergebnisse der Varianten für Ziegelverblendmauerwerk mit Holzständer	30
5.1.6	Zwischenfazit zu Varianten für Ziegelverblendmauerwerk	33

5.2	Ergebnisse der Variante Wärmedämmverbundsystem	33
5.3	Ergebnisse der Varianten Holzständerkonstruktion mit Holzverschalung	35
5.4	Gesamtergebnisdarstellung	38
5.4.1	Gesamtergebnisse für 50-Jahre-Betrachtung	38
5.4.2	Gesamtergebnisse für 80-Jahre-Betrachtung	40
5.4.3	Gesamtergebnisse für 100-Jahre-Betrachtung	43
6	Literatur	46

1 Executive Summary | Wesentliche Ergebnisse

Ausführungsvarianten Ziegelverblendmauerwerk

- ▶ Alle Ausführungsvarianten für Ziegelverblendmauerwerk verhalten sich über die unterschiedlichen Betrachtungszeiträume (mit kleineren Einschränkungen bei der Variante Holzständer) nahezu identisch.
- ▶ Die höchsten Umweltwirkungen über den jeweiligen gesamten Lebenszyklus verursacht die Variante Beton (ca. 100 kg CO₂-Äquivalent pro m² Wandfläche), gefolgt von Kalksandstein (KS; ca. 99 kg) und Porenbeton (PB; ca. 96 kg). Die niedrigsten Umweltwirkungen der mineralisch basierten Tragkonstruktionen weist die Variante Ziegel ungefüllt (Z; ca. 77 kg) auf; die Variante Holzständer (Hz) weist mit ca. 66 kg die niedrigsten Ergebnisse aller Varianten auf.
- ▶ Es zeigt sich an diesen Ergebnissen der Ziegelverblendmauerwerk-Varianten, dass diese vom Konstruktionsmaterial geprägt werden: einerseits bzgl. der Umweltwirkungen der Herstellungsphase und andererseits bzgl. der Umweltwirkungen des End of Life (siehe v.a. Variante Holzständer).

Ausführungsvarianten Wärmedämmverbundsystem

- ▶ Die Ausführungsvariante des Wärmedämmverbundsystems zeigt hinsichtlich der CO₂-Äquivalente deutliche Abweichungen zwischen den verschiedenen Betrachtungszeiträumen 50, 80 und 100 Jahre. Hier schlagen die auf 30-40 Jahre festgelegten technischen Nutzungsdauern eines Wärmedämmverbundsystems durch. Für den Betrachtungszeitraum 80 Jahre sind die Umweltwirkungen aus dem Austausch (Erneuerung) beinahe ähnlich groß wie die Umweltwirkungen der Herstellung der Gesamt-Konstruktion; für die 100-Jahre-Perspektive werden die Gesamtergebnisse sogar vom Austausch (Erneuerung) dominiert.

Ausführungsvarianten Holzständerkonstruktion mit Holzverschalung

- ▶ Die Ergebnisse verdeutlichen über den niedrigen/ negativen Ergebnisanteil der Herstellung (biogene CO₂-Speicherung im Holz) und von Modul D (Substitution von fossilen Brennstoffen bei energetischer Holzverwertung) und den hohen Ergebnisanteil des End of Life (Freisetzung CO₂ durch energetische Verwertung Holz als Standardszenario) den hohen Anteil von Holzwerkstoffen in den betrachteten Varianten.
- ▶ Die beiden Ausführungsvarianten der Holzständerkonstruktion mit Holzverschalung unterscheiden sich dabei weniger untereinander als vielmehr zwischen den verschiedenen Betrachtungszeiträumen 50, 80 und 100 Jahre. Hier schlagen die auf 35 Jahre festgelegten technischen Nutzungsdauern der Holzverschalung und die auf 70 Jahre festgelegten technischen Nutzungsdauern der tragenden Holzkonstruktion inkl. Gefachdämmung durch, indem sich die Umweltwirkungen bzw. CO₂-Äquivalente für Austausch (Erneuerung) gegenüber der 50 Jahre-Betrachtung ca. verdreifachen.

Vergleich Ziegelverblendmauerwerks-, Wärmedämmverbundsystem- und Holzständerkonstruktion-Varianten

- ▶ Generell lässt sich für die **50-Jahres-Perspektive** festhalten, dass die Gesamtumweltwirkungen/ CO₂-Äquivalente der Ziegelverblendmauerwerks- und Wärmedämmverbundsystem-Varianten (unter Abstraktion von Ergebnistendenzen für unterschiedliche Konfigurationen des Verblendmauerwerks in Sachen Dämm- und Verblender-Stärke) jedenfalls für die Standard-Variation (20 cm Kerndämmung, 11,5 cm Verblender) auf einem ähnlichen/ vergleichbaren Niveau liegen und
- ▶ dass die Ergebnisse der Varianten Holzständerkonstruktion mit Holzverschalung für 50 Jahre leicht unter bzw. (je nach Verblender-Stärken) etwa auf Niveau der Ergebnisse der Ziegelverblendmauerwerk-Varianten mit einer Holztragkonstruktion liegen.

- ▶ Bei Betrachtungszeiträumen von **80 und 100 Jahren** liegen die Gesamtumweltwirkungen der WDVS-Varianten aber (deutlich) oberhalb der Ergebnisse aller Ziegelverblendmauerwerk-Varianten, unabhängig von der Konfiguration der Dämm- und Verblender-Stärke und
- ▶ die Gesamtumweltwirkungen der Varianten Holzständerkonstruktion mit Holzverschalung liegen ungefähr auf einem Ergebnisniveau mit den Ziegelverblendmauerwerk-Varianten; für die Ziegelverblendmauerwerk-Varianten mit Tragkonstruktionen in Ziegel und Holz und für kleinere Dämm- und Verblender-Stärken sogar darüber.

2 Aufgabenstellung

2.1 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 3.1).

Grds. werden die Umweltwirkungen eines Bauprodukts bzw. Bauwerks von der Art und der Menge an Inhaltsstoffen bzw. eingesetzten Materialien bestimmt.

2.2 Zielsetzung

Zweischalige Wandkonstruktionen mit Ziegelverblendmauerwerk zeichnen sich durch eine extreme Lebens- bzw. technische Nutzungsdauer aus. Der Fachverband Ziegelindustrie Nord e.V. als Verband von Herstellern von Verblendziegeln strebt in diesem Kontext die Durchführung einer Ökobilanz-Studie nach ISO 14040 und 14044 für verschiedenste Varianten von Ziegelverblendmauerwerk an, um deren Ergebnisse über verschiedene Lebenszyklusszenarien mit einer standardmäßigen Außenwandkonstruktion als Wärmedämmverbundsystem (WDVS) und ergänzend mit einer Holzständerkonstruktion mit Holzverschalung zu vergleichen.

Ziel der Ökobilanz-Studie ist es herauszufinden, ob und wenn ja welche ökobilanziellen Unterschiede, hierbei insbesondere bei der Verursachung von Treibhausgasemissionen (sog. Global Warming Potential, ausgewiesen als CO₂-Äquivalente (CO₂-eq.)), zwischen den verschiedenen Varianten an Außenwandkonstruktionen über unterschiedliche Lebenszyklusszenarien bestehen.

3 Grundlagen

3.1 Untersuchungsmethodik – Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 und 14044

3.1.1 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. 3-1 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.

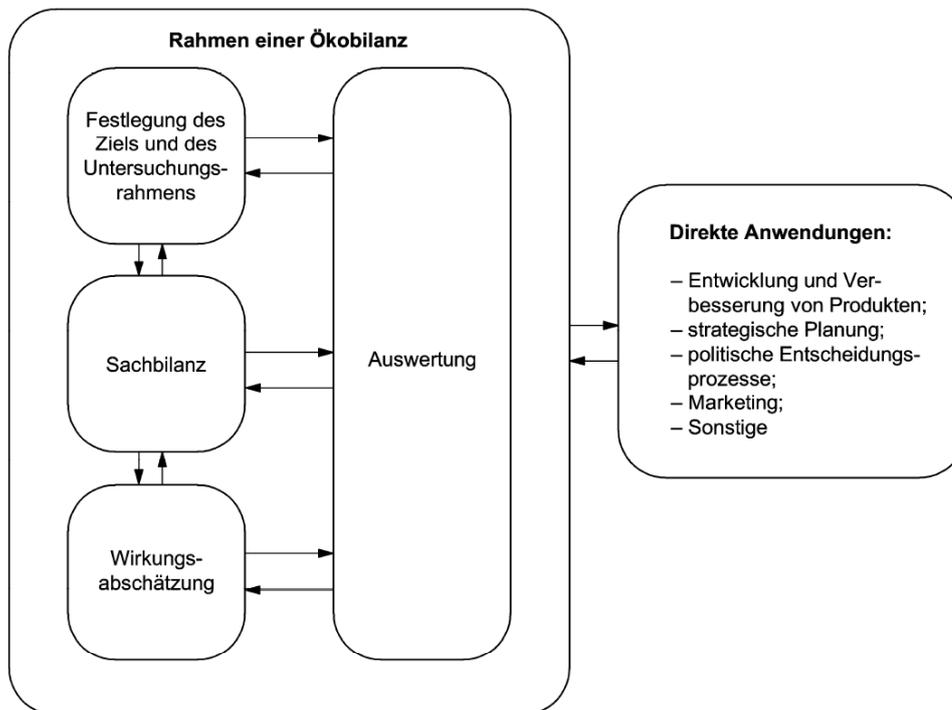


Abb. 3-1: Aufbau und Phasen einer Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 [1]

3.1.2 Phasen einer Ökobilanz

Der erste Arbeitsschritt der Ökobilanz (vgl. Abb. 3-1) 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 3.1.3).

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.

3.1.3 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: Treibhauspotenzial/ GWP) der Untersuchung zu berücksichtigen. Im Folgenden wird die zuvor genannte Kenngröße beschrieben:

Treibhauspotential (GWP) [in kg CO₂-Äqu.]

Das Treibhauspotential (Global Warming Potential), gemessen in kg CO₂-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. CO₂, CH₄ und N₂O sowie SF₆, PFC und HFC. Ihre Werte werden in Relation zur Treibhauswirkung von Kohlendioxid als CO₂ 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 100 Jahre (GWP100).

3.2 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]

3.3 Datengrundlage

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

- ▶ Festlegungen des Auftraggebers zu den zu untersuchenden Varianten an Ziegelverblendmauerwerk (inkl. tragender Konstruktion; vgl. Abbildungen unter Abschnitt 4.2) sowie zu Vergleichsvariante in WDVS und als Holzständerkonstruktion mit Holzverschalung
- ▶ Umweltproduktdeklarationen (EPDs) für die Baustoffe/ Produkte Kalksandstein, Mauerziegel ungefüllt, Porenbeton, Vormauerziegel und Klinker (in jeweils aktueller/ letztgültiger vorliegender Fassung)
- ▶ Ökobilanz-Basisdatenbank ökobau.dat (Version 2023-I vom 15.06.2023)

4 Ökobilanz von Außenwandkonstruktionen Ziegelverblendmauerwerk und Wärmedämmverbundsystem (WDVS)

4.1 Untersuchungsrahmen

Ziel der vorliegenden Studie ist der ökologische Vergleich für die Umweltwirkung Treibhauspotenzial (GWP) von unterschiedlichen Varianten von Ziegelverblendmauerwerk und von Außenwänden als Wärmedämmverbundsystem (WDVS) sowie ergänzend von Holzständerkonstruktionen mit Holzverschalung mittels der Methode der Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 und 14044.

Die Untersuchung dient der Ermittlung der ökologischen Eigenschaften des Treibhauspotentials aller untersuchten Varianten. Die Ergebnisse sollen insbesondere für Marketing- und Kommunikationszwecke gegenüber Kunden genutzt werden.

Die Systemgrenze der Betrachtung umfasst dabei erstens den gesamten Herstellungsprozess der untersuchten Fassadenplatten. 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 der Außenwandbauteile (hier: Modul B4) sowie deren Entsorgungsstadium (hier: Module C3 und C4) und Gutschriften/Lasten außerhalb der Systemgrenze (Modul D).

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

4.2 Bauteil-Varianten der Ökobilanzstudie

4.2.1 Varianten für Ziegelverblendmauerwerk

In Abstimmung mit dem Auftraggeber werden folgende Ausführungsvarianten eines Ziegelverblendmauerwerks in der Ökobilanzstudie abgebildet:

- ▶ als tragende Innenschalen (in Summe 5)
 - Mauerwerk Kalksandstein (Kürzel *KS*)
 - Mauerwerk Porenbeton (Kürzel *PB*)
 - Mauerwerk Ziegel ungefüllt (Kürzel *Z*)
 - Stahlbeton (Kürzel *B*)
 - Holzständerwerk/ Holzrahmenbauweise (Kürzel *HZ*)
- ▶ für gedämmten Zwischenraum (in Summe 2)
 - Standard-Schichtstärke 20 cm Mineralwoll-Dämmung (Kürzel *20 KD*)
 - Maximal-Schichtstärke 30 cm Mineralwoll-Dämmung (Kürzel *30 KD*)

- ▶ für Ziegelverblendmauerwerk (in Summe 3)
 - Schichtstärke 11,5 cm (Kürzel 11,5 K)
 - Schichtstärke 9 cm (Kürzel 9 K)
 - Schichtstärke 6,5 cm (Kürzel 6,5 K)

Über die diversen Kombinationsmöglichkeiten ergeben sich in Summe 30 Varianten, wobei je tragender Innenschale die Varianten 20 KD und 11,5 K die Basisvarianten darstellen (siehe hierzu auch Abb. 4-1 bis Abb. 4-5).

4.2.2 Varianten für Vergleichskonstruktion als Wärmedämmverbundsystem

Es wird folgende Ausführungsvariante eines Wärmedämmverbundsystems als Vergleichsvariante in der Ökobilanzstudie abgebildet:

- ▶ WDVS mit Putz: 17,5 cm Kalksandstein, 20 cm EPS, 10 mm Putz (U-Wert ca. 0,16 W/(m²K); Kürzel: *Variante WDVS Putz+Farbe*)

4.2.3 Varianten für Vergleichskonstruktionen als Holzständerkonstruktion mit Holzverschalung

Es werden folgende Ausführungsvarianten einer Holzständerkonstruktion mit Holzverschalung als Vergleichsvarianten in der Ökobilanzstudie abgebildet:

- ▶ Holzständerwerk/ Holzrahmenbauweise, 15 cm Gefachdämmung, 10 cm Zusatzdämmung, Holzverschalung (Lärche) auf Holzunterkonstruktion (U-Wert ca. 0,14 W/(m²K); Kürzel *HzStänd, 15 GD, 10 Dä*)
- ▶ Holzständerwerk/ Holzrahmenbauweise, 15 cm Gefachdämmung, 20 cm Zusatzdämmung, Holzverschalung (Lärche) auf Holzunterkonstruktion (U-Wert ca. 0,11 W/(m²K); Kürzel *HzStänd, 15 GD, 20 Dä*)



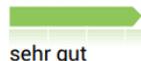
Tragende Innenschale Kalksandstein

Außenwand
erstellt am 29.3.2022

Wärmeschutz

$U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

GEG 2020 Bestand*: $U < 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



sehr gut

Feuchteschutz

Trocknet 10 Tage
Tauwasser: $89 \text{ g}/\text{m}^2$



sehr gut

Hitzeschutz

Temperaturamplitudendämpfung: >100
Phasenverschiebung: nicht relevant
Wärmekapazität innen: $304 \text{ kJ}/\text{m}^2\text{K}$

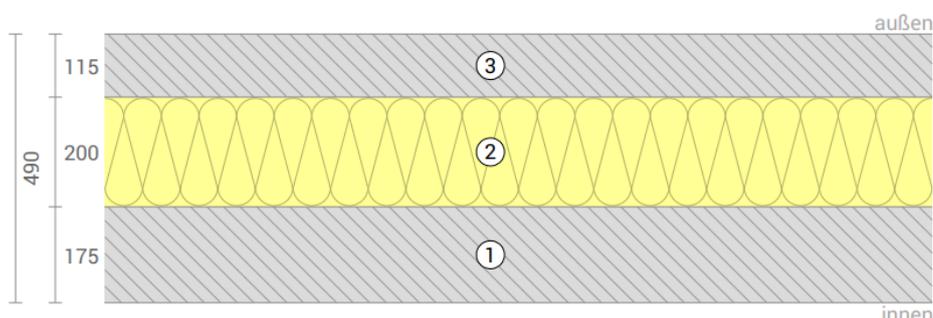


sehr gut

mangelhaft

mangelhaft

mangelhaft



- ① Kalksandstein (175 mm) ② Mineralwolle WLG035 (200 mm) ③ Vollziegel 1400 kg/m³, DIN 105 (115 mm)

Abb. 4-1: Konfiguration Basis-Variante **KS 20 KD 11,5 K**



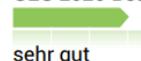
Tragende Innenschale Porenbeton

Außenwand
erstellt am 29.3.2022

Wärmeschutz

$U = 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

GEG 2020 Bestand*: $U < 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



sehr gut

Feuchteschutz

Trocknet 11 Tage
Tauwasser: $101 \text{ g}/\text{m}^2$



sehr gut

Hitzeschutz

Temperaturamplitudendämpfung: 88
Phasenverschiebung: 14,5 h
Wärmekapazität innen: $100 \text{ kJ}/\text{m}^2\text{K}$

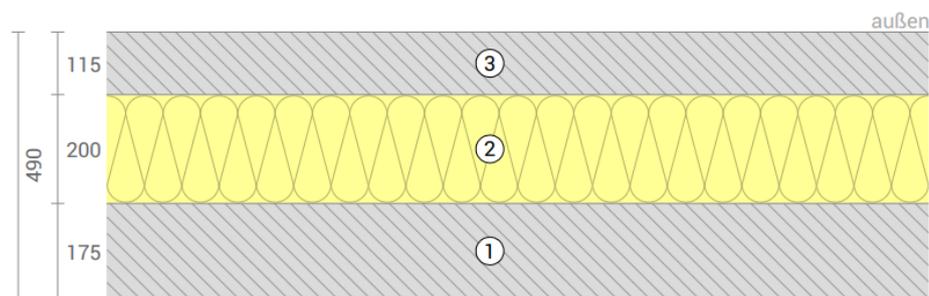


sehr gut

mangelhaft

mangelhaft

mangelhaft



- ① 4.4 Porenbeton-Plansteine $600\text{kg}/\text{m}^3$ (175 mm) ③ Vollziegel $1400 \text{ kg}/\text{m}^3$, DIN 105 (115 mm)
② Mineralwolle WLG035 (200 mm)

Abb. 4-2: Konfiguration Basis-Variante **PB 20 KD 11,5 K**



Tragende Innenschale Ziegel

Außenwand
erstellt am 29.3.2022

Wärmeschutz

$U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

GEG 2020 Bestand*: $U < 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



sehr gut

Feuchteschutz

Trocknet 11 Tage
Tauwasser: $104 \text{ g}/\text{m}^2$



sehr gut

Hitzeschutz

Temperaturamplitudendämpfung: 91
Phasenverschiebung: 13,5 h
Wärmekapazität innen: $118 \text{ kJ}/\text{m}^2\text{K}$



sehr gut

mangelhaft

mangelhaft

mangelhaft

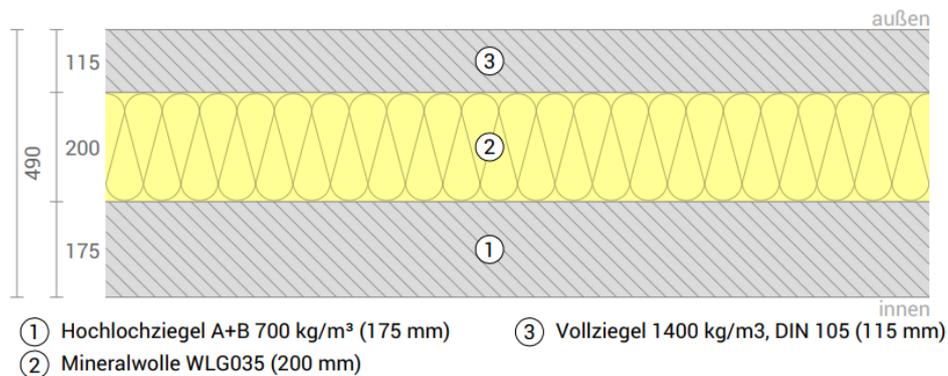


Abb. 4-3: Konfiguration Basis-Variante Z 20 KD 11,5 K



Tragende Innenschale Beton

Außenwand
erstellt am 29.3.2022

Wärmeschutz

$U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

GEG 2020 Bestand*: $U < 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



sehr gut

Feuchteschutz

Kein Tauwasser



sehr gut

Hitzeschutz

Temperaturamplitudendämpfung: >100
Phasenverschiebung: nicht relevant
Wärmekapazität innen: $344 \text{ kJ}/\text{m}^2\text{K}$



sehr gut

mangelhaft

mangelhaft

mangelhaft

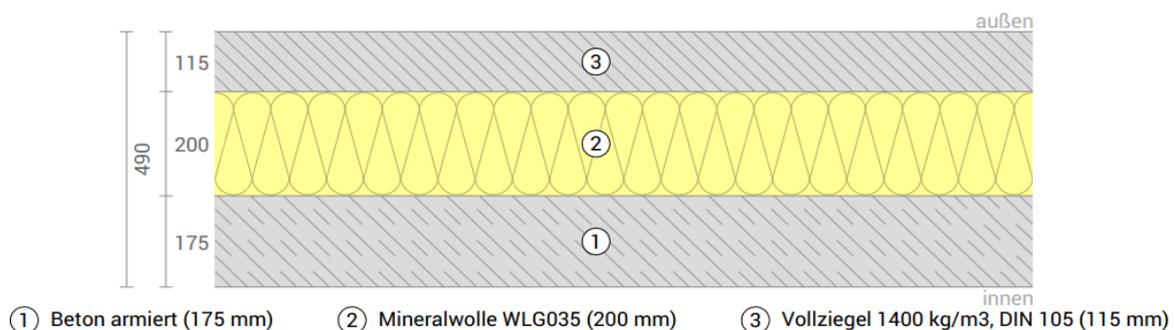


Abb. 4-4: Konfiguration Basis-Variante B 20 KD 11,5 K

Tragende Innenschale Holzständerwand

Außenwand
erstellt am 29.3.2022

Wärmeschutz

$U = 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Innendämmung: Keine Anforderung*



sehr gut

Feuchteschutz

Trocknungsreserve: 147 g/m²a
Kein Tauwasser



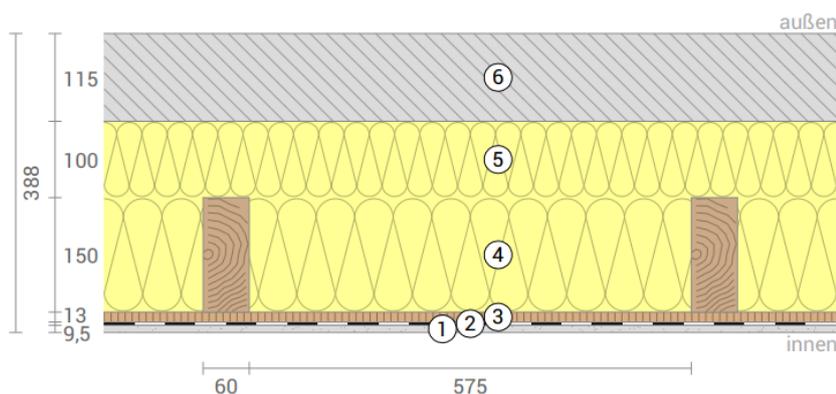
sehr gut

Hitzeschutz

Temperaturamplitudendämpfung: 17
Phasenverschiebung: 11,5 h
Wärmekapazität innen: 33 kJ/m²K



sehr gut



① Rigips Bauplatte RB (9,5 mm)

② Dampfsperre $s_d=100$

③ OSB/3 (13 mm)

④ Mineralwolle WLG035 (150 mm)

⑤ EPS 035 (100 mm)

⑥ Ziegel, 1800 kg/m³, 1952 (115 mm)

Abb. 4-5: Konfiguration Basis-Variante Hz 20 KD 11,5 K

4.2.4 Varianten für Lebenszyklusszenarien

Zur Abbildung der unterschiedlichen Lebens- bzw. technischen Nutzungsdauern der betrachteten Varianten aus Abschnitt 4.2.1 f. werden folgende Betrachtungszeiträume in der Ökobilanzstudie abgebildet:

- Betrachtungszeitraum 50 Jahre (Kürzel 50a)

Entspricht der Konvention gemäß Deutschem Gütesiegel Nachhaltiges Bauen bzw. des DGNB-Systems für den Betrachtungszeitraum für Nachhaltigkeitsbewertungen u.a. von Wohngebäuden

- Betrachtungszeitraum 80 Jahre (Kürzel 80a)

Entspricht einer üblichen Variation des Betrachtungszeitraum mit Blick auf realitätsnähere Ansätze für die Nutzungs-/ Lebensdauer insbesondere von Wohngebäuden

- Betrachtungszeitraum 100 Jahre (Kürzel 100a)

Als maximale/ längste Betrachtungsperspektive

Für die Betrachtung der Lebenszyklusszenarien 80a und 100a kann nicht auf die aktuell gültigen Nutzungsdauertabellen für Bauteile gemäß [5] zurückgegriffen werden, weil diese keine konkreten Nutzungsdauern größer 50 Jahren ausweisen. Für die Betrachtung der Lebenszyklusszenarien 80a und 100a wird daher hilfsweise zurückgegriffen auf den Leitfaden Nachhaltiges Bauen der Version 2001 [6], dessen Nutzungsdauertabellen auch konkrete Werte für Lebenserwartungen größer 50 Jahre ausweisen.

In Abstimmung mit dem Fachverband Ziegelindustrie Nord e.V. und auf Basis von dessen praktischen Erfahrungswerten mit den Ausführungsvarianten Ziegelverblendmauerwerk wird als technische Nutzungsdauer für die Varianten in/ mit Ziegelverblendmauerwerk ein Wert von 100 Jahren gewählt.

In Summe ergeben sich daraus insgesamt 90 Varianten für das Ziegelverblendmauerwerk und insgesamt 9 Varianten für die Vergleichsbauweise als WDVS und als Holzständerkonstruktion mit Holzverschalung.

5 Ergebnisse der Ökobilanz-Studie

5.1 Ergebnisse der Varianten Ziegelverblendmauerwerk

5.1.1 Ergebnisse der Varianten für Ziegelverblendmauerwerk mit Kalksandstein

Abb. 5-1 bis Abb. 5-3 bzw. Tab. 5-1 zeigen die Ergebnisse aller Varianten des Ziegelverblendmauerwerks mit Kalksandstein für die Betrachtungszeiträume 50, 80 und 100 Jahre.

Folgende Kernergebnisse lassen sich konstatieren:

- ▶ Die Ausführungsvarianten unterscheiden sich jeweils für die Betrachtungszeiträume 50, 80 und 100 Jahre nicht, weil die technische Nutzungsdauer der Konstruktion(en) den Betrachtungszeitraum überschreitet (für 50 und 80 Jahre) bzw. einhält (für 100 Jahre) – insofern fällt kein Austausch (Erneuerung) (einzelner Bauteilschichten) und kein unterschiedliches Recyclingpotential an (die Ergebnisse für Herstellung und End of Life müssen aufgrund der Betrachtung von Absolutwerten ohnehin für alle Betrachtungszeiträume identisch sein).
- ▶ Umweltwirkungen bzw. CO₂-Äquivalente des End of Life und des Modul D spielen gegenüber den dominanten Werten für die Herstellungsphase nur eine stark untergeordnete Rolle.
- ▶ Absolute Höhe der Umweltwirkungen bzw. CO₂-Äquivalente der Ausführungsvarianten wird wie erwartet geprägt vom „Materialeinsatz“, d.h. je dicker/ stärker Dämmung und/ oder Verblendmauerwerk, umso höher die Ergebnisse.

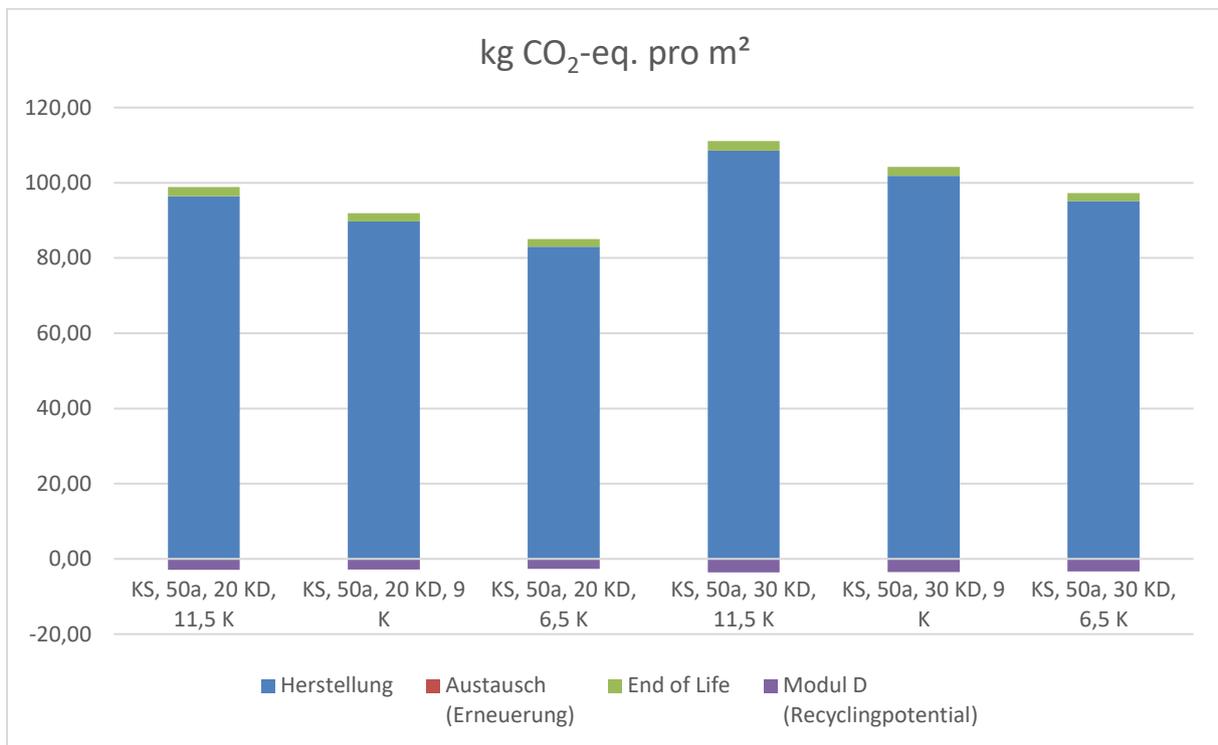


Abb. 5-1: Ergebnisse (grafisch) alle Varianten Ziegelverblendmauerwerk mit Kalksandstein über 50 Jahre

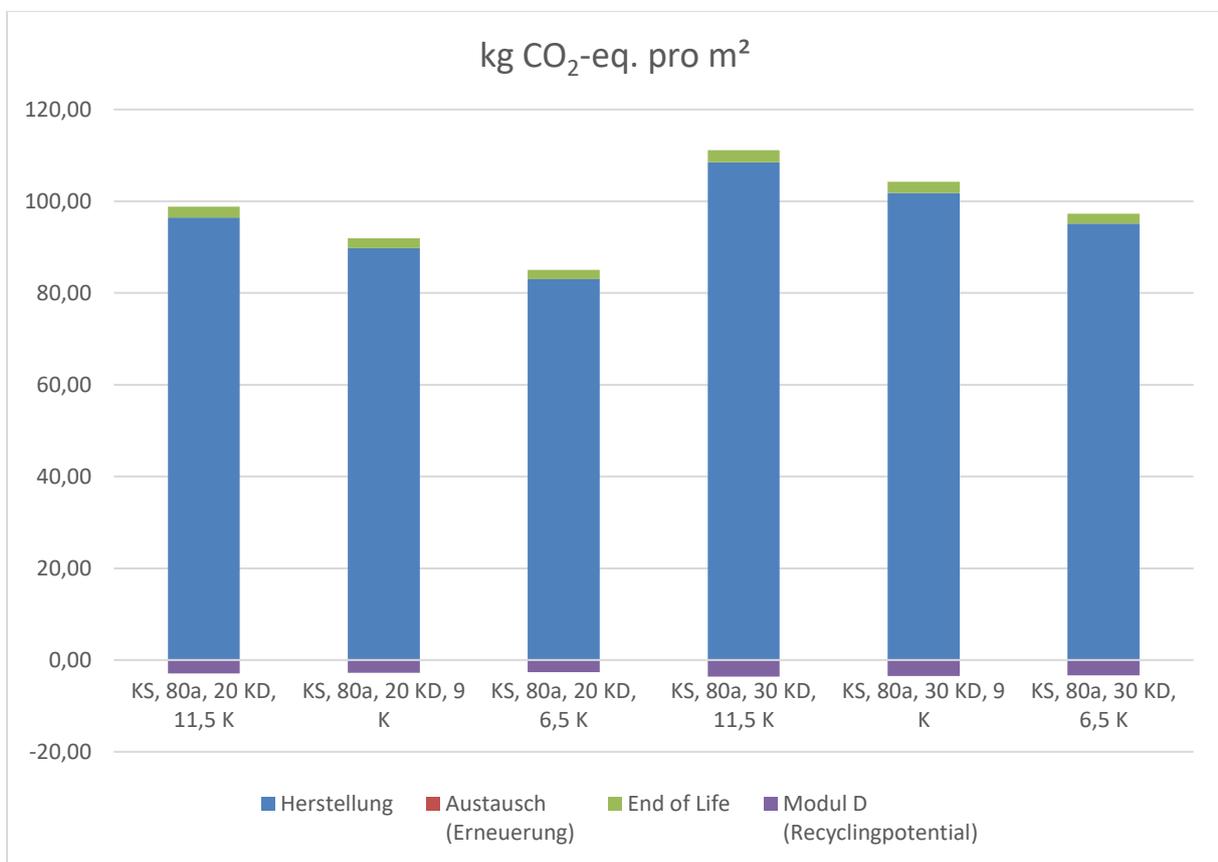


Abb. 5-2: Ergebnisse (grafisch) alle Varianten Ziegelverblendmauerwerk mit Kalksandstein über 80 Jahre

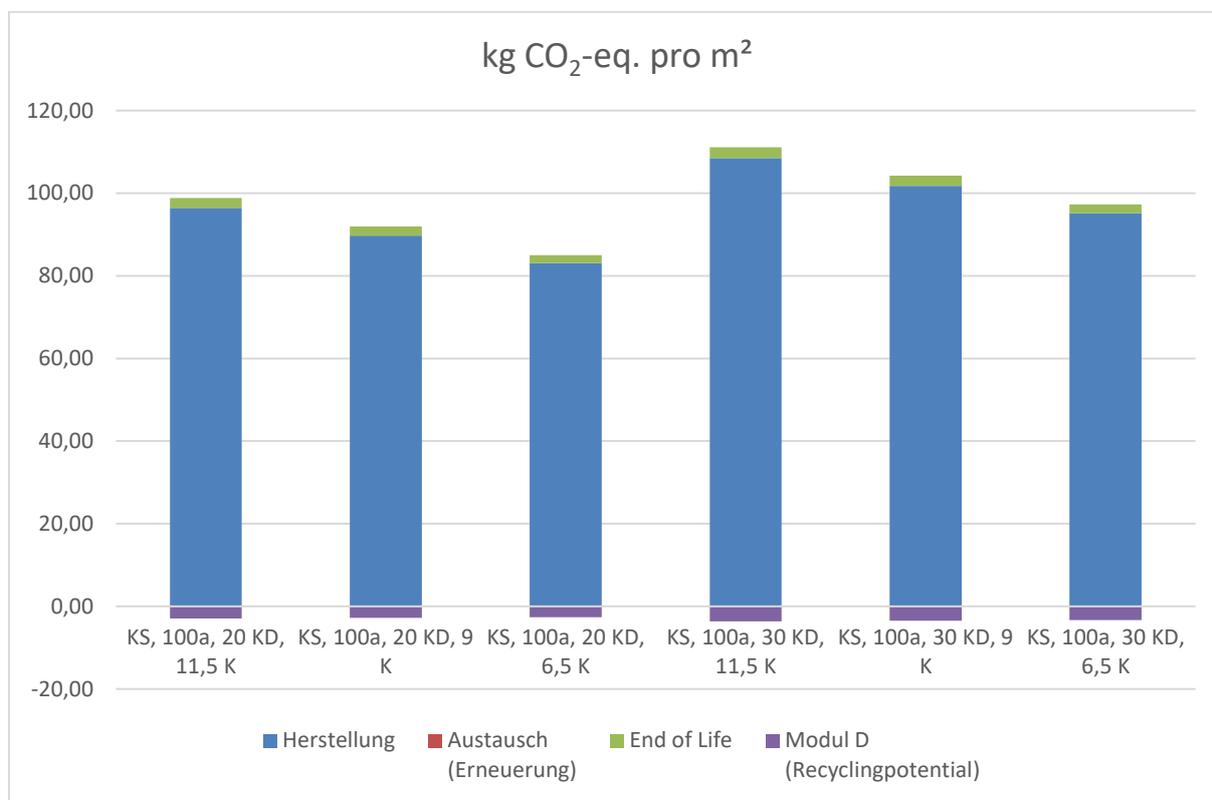


Abb. 5-3: Ergebnisse (grafisch) alle Varianten Ziegelverblendmauerwerk mit Kalksandstein über 100 Jahre

Tab. 5-1: Ergebnisse (tabellarisch) alle Varianten Ziegelverblendmauerwerk mit Kalksandstein

CO ₂ -Äquivalente absolut ¹⁾ in kg					
¹⁾ für 1 m ² Außenwand und über gesamten Lebenszyklus von 50 80 100 Jahren					
Varianten	Lebenszyklusphasen				Summe Lebenszyklus (ohne Modul D)
	Herstellung	Austausch (Erneuerung)	End of Life	Modul D (Recyclingpotential)	
KS, 50a, 20 KD, 11,5 K	96,45	0,00	2,41	-2,94	98,85
KS, 50a, 20 KD, 9 K	89,74	0,00	2,19	-2,78	91,93
KS, 50a, 20 KD, 6,5 K	83,04	0,00	1,98	-2,63	85,02
KS, 50a, 30 KD, 11,5 K	108,51	0,00	2,62	-3,63	111,13
KS, 50a, 30 KD, 9 K	101,81	0,00	2,41	-3,47	104,21
KS, 50a, 30 KD, 6,5 K	95,10	0,00	2,19	-3,32	97,30
KS, 80a, 20 KD, 11,5 K	96,45	0,00	2,41	-2,94	98,85
KS, 80a, 20 KD, 9 K	89,74	0,00	2,19	-2,78	91,93
KS, 80a, 20 KD, 6,5 K	83,04	0,00	1,98	-2,63	85,02
KS, 80a, 30 KD, 11,5 K	108,51	0,00	2,62	-3,63	111,13
KS, 80a, 30 KD, 9 K	101,81	0,00	2,41	-3,47	104,21
KS, 80a, 30 KD, 6,5 K	95,10	0,00	2,19	-3,32	97,30
KS, 100a, 20 KD, 11,5 K	96,45	0,00	2,41	-2,94	98,85
KS, 100a, 20 KD, 9 K	89,74	0,00	2,19	-2,78	91,93
KS, 100a, 20 KD, 6,5 K	83,04	0,00	1,98	-2,63	85,02
KS, 100a, 30 KD, 11,5 K	108,51	0,00	2,62	-3,63	111,13
KS, 100a, 30 KD, 9 K	101,81	0,00	2,41	-3,47	104,21
KS, 100a, 30 KD, 6,5 K	95,10	0,00	2,19	-3,32	97,30

5.1.2 Ergebnisse der Varianten für Ziegelverblendmauerwerk mit Porenbeton

Abb. 5-4 bis Abb. 5-6 bzw. Tab. 5-2 zeigen die Ergebnisse aller Varianten des Ziegelverblendmauerwerks mit Porenbeton für die Betrachtungszeiträume 50, 80 und 100 Jahre.

Folgende Kernergebnisse lassen sich konstatieren:

- ▶ Die Ausführungsvarianten unterscheiden sich jeweils für die Betrachtungszeiträume 50, 80 und 100 Jahre nicht, weil die technische Nutzungsdauer der Konstruktion(en) den Betrachtungszeitraum überschreitet (für 50 und 80 Jahre) bzw. einhält (für 100 Jahre) – insofern fällt kein Austausch (Erneuerung) (einzelner Bauteilschichten) und kein unterschiedliches Recyclingpotential an (die Ergebnisse für Herstellung und End of Life müssen aufgrund der Betrachtung von Absolutwerten ohnehin für alle Betrachtungszeiträume identisch sein).
- ▶ Umweltwirkungen bzw. CO₂-Äquivalente des End of Life und des Modul D spielen gegenüber den dominanten Werten für die Herstellungsphase nur eine stark untergeordnete Rolle.
- ▶ Absolute Höhe der Umweltwirkungen bzw. CO₂-Äquivalente der Ausführungsvarianten wird wie erwartet geprägt vom „Materialeinsatz“, d.h. je dicker/ stärker Dämmung und/ oder Verblendmauerwerk, umso höher die Ergebnisse.

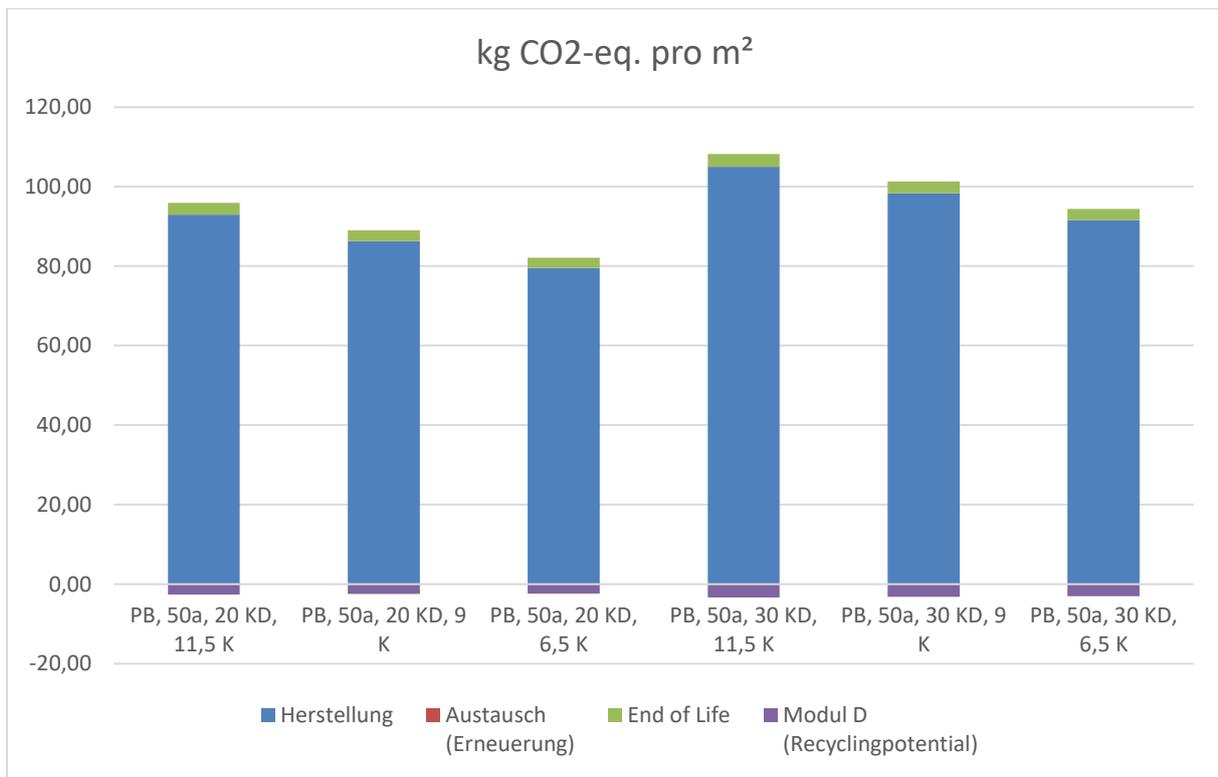


Abb. 5-4: Ergebnisse (grafisch) alle Varianten Ziegelverblendmauerwerk mit Porenbeton über 50 Jahre

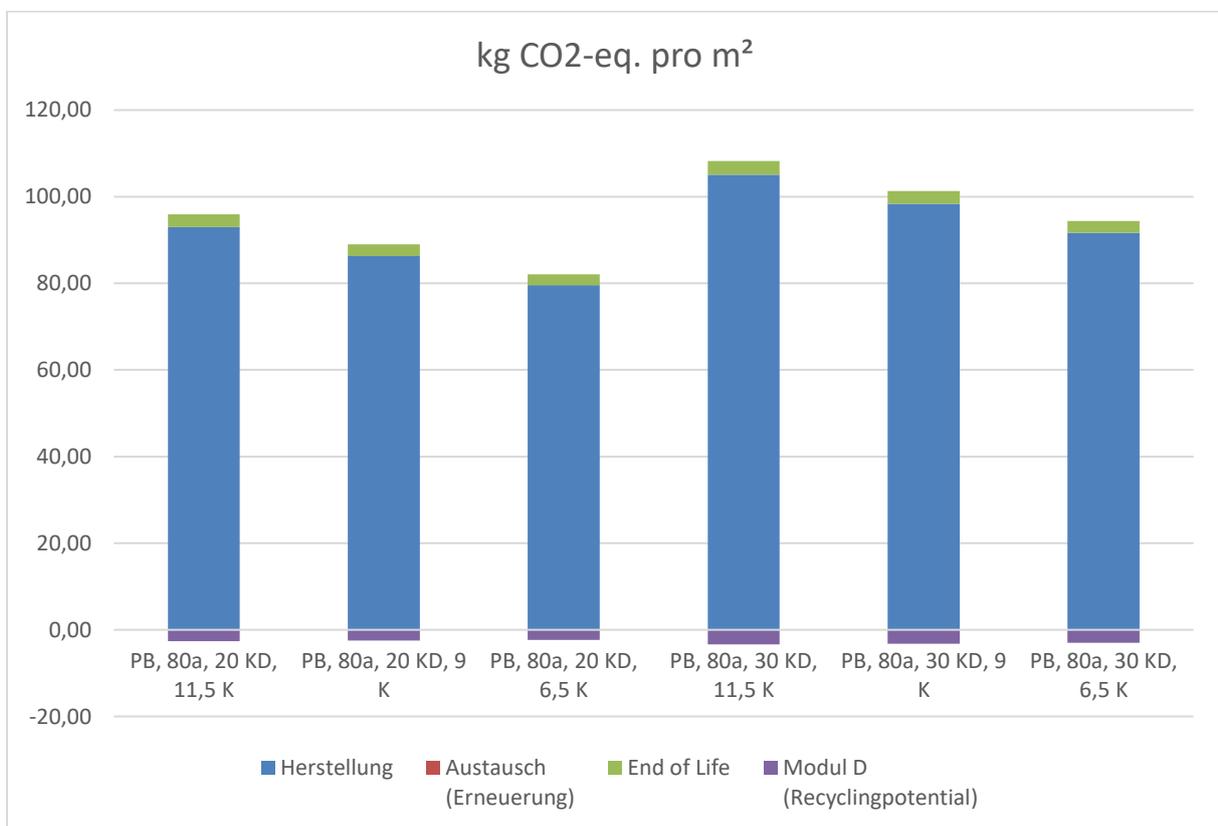


Abb. 5-5: Ergebnisse (grafisch) alle Varianten Ziegelverblendmauerwerk mit Porenbeton über 80 Jahre

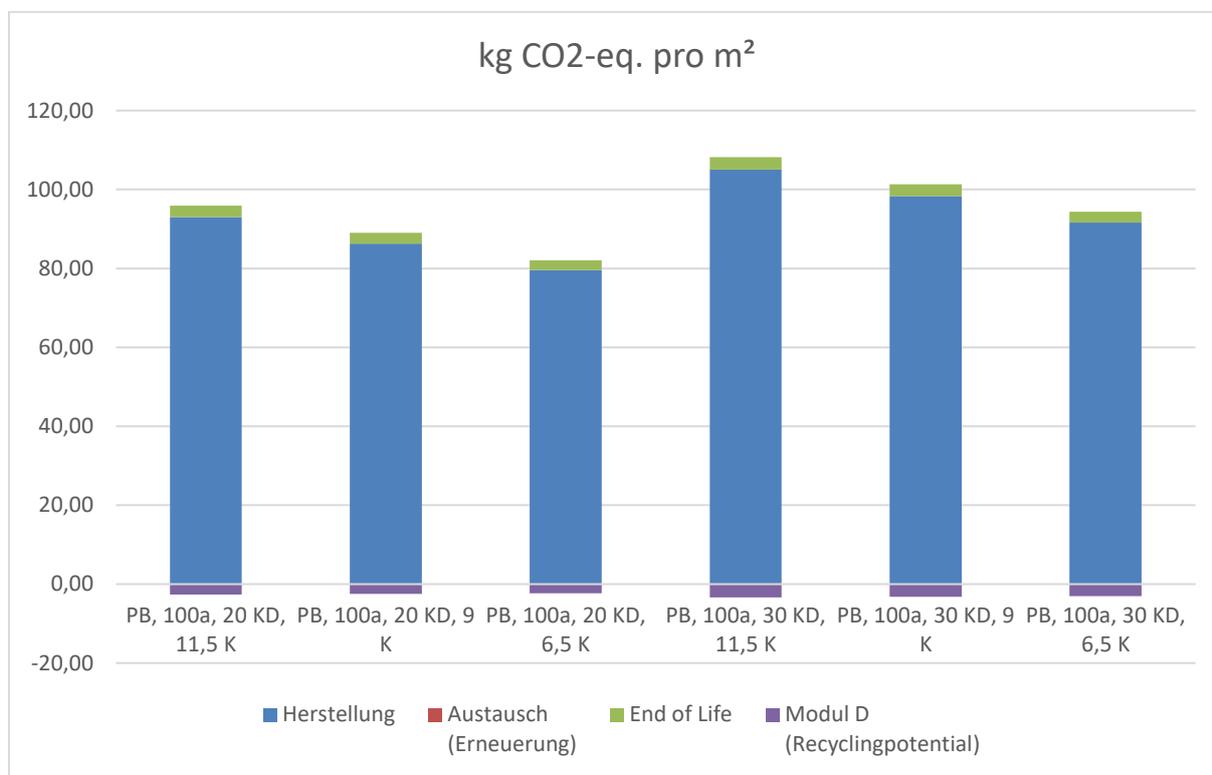


Abb. 5-6: Ergebnisse (grafisch) alle Varianten Ziegelverblendmauerwerk mit Porenbeton über 100 Jahre

Tab. 5-2: Ergebnisse (tabellarisch) alle Varianten Ziegelverblendmauerwerk mit Porenbeton

CO ₂ -Äquivalente absolut ^{*)} in kg					
*) für 1 m ² Außenwand und über gesamten Lebenszyklus von 50 80 100 Jahren					
Varianten	Lebenszyklusphasen				Summe Lebenszyklus (ohne Modul D)
	Herstellung	Austausch (Erneuerung)	End of Life	Modul D (Recyclingpotential)	
PB, 50a, 20 KD, 11,5 K	92,98	0,00	2,95	-2,64	95,93
PB, 50a, 20 KD, 9 K	86,28	0,00	2,74	-2,49	89,02
PB, 50a, 20 KD, 6,5 K	79,57	0,00	2,53	-2,34	82,10
PB, 50a, 30 KD, 11,5 K	105,05	0,00	3,17	-3,33	108,21
PB, 50a, 30 KD, 9 K	98,34	0,00	2,96	-3,18	101,30
PB, 50a, 30 KD, 6,5 K	91,64	0,00	2,74	-3,03	94,38
PB, 80a, 20 KD, 11,5 K	92,98	0,00	2,95	-2,64	95,93
PB, 80a, 20 KD, 9 K	86,28	0,00	2,74	-2,49	89,02
PB, 80a, 20 KD, 6,5 K	79,57	0,00	2,53	-2,34	82,10
PB, 80a, 30 KD, 11,5 K	105,05	0,00	3,17	-3,33	108,21
PB, 80a, 30 KD, 9 K	98,34	0,00	2,96	-3,18	101,30
PB, 80a, 30 KD, 6,5 K	91,64	0,00	2,74	-3,03	94,38
PB, 100a, 20 KD, 11,5 K	92,98	0,00	2,95	-2,64	95,93
PB, 100a, 20 KD, 9 K	86,28	0,00	2,74	-2,49	89,02
PB, 100a, 20 KD, 6,5 K	79,57	0,00	2,53	-2,34	82,10
PB, 100a, 30 KD, 11,5 K	105,05	0,00	3,17	-3,33	108,21
PB, 100a, 30 KD, 9 K	98,34	0,00	2,96	-3,18	101,30
PB, 100a, 30 KD, 6,5 K	91,64	0,00	2,74	-3,03	94,38

5.1.3 Ergebnisse der Varianten für Ziegelverblendmauerwerk mit Ziegel ungefüllt

Abb. 5-7 bis Abb. 5-9 bzw. Tab. 5-3 zeigen die Ergebnisse aller Varianten des Ziegelverblendmauerwerks mit Ziegel ungefüllt für die Betrachtungszeiträume 50, 80 und 100 Jahre.

Folgende Kernergebnisse lassen sich konstatieren:

- ▶ Die Ausführungsvarianten unterscheiden sich jeweils für die Betrachtungszeiträume 50, 80 und 100 Jahre nicht, weil die technische Nutzungsdauer der Konstruktion(en) den Betrachtungszeitraum überschreitet (für 50 und 80 Jahre) bzw. einhält (für 100 Jahre) – insofern fällt kein Austausch (Erneuerung) (einzelner Bauteilschichten) und kein unterschiedliches Recyclingpotential an (die Ergebnisse für Herstellung und End of Life müssen aufgrund der Betrachtung von Absolutwerten ohnehin für alle Betrachtungszeiträume identisch sein).
- ▶ Umweltwirkungen bzw. CO₂-Äquivalente des End of Life und des Modul D spielen gegenüber den dominanten Werten für die Herstellungsphase nur eine stark untergeordnete Rolle.
- ▶ Absolute Höhe der Umweltwirkungen bzw. CO₂-Äquivalente der Ausführungsvarianten wird wie erwartet geprägt vom „Materialeinsatz“, d.h. je dicker/ stärker Dämmung und/ oder Verblendmauerwerk, umso höher die Ergebnisse.

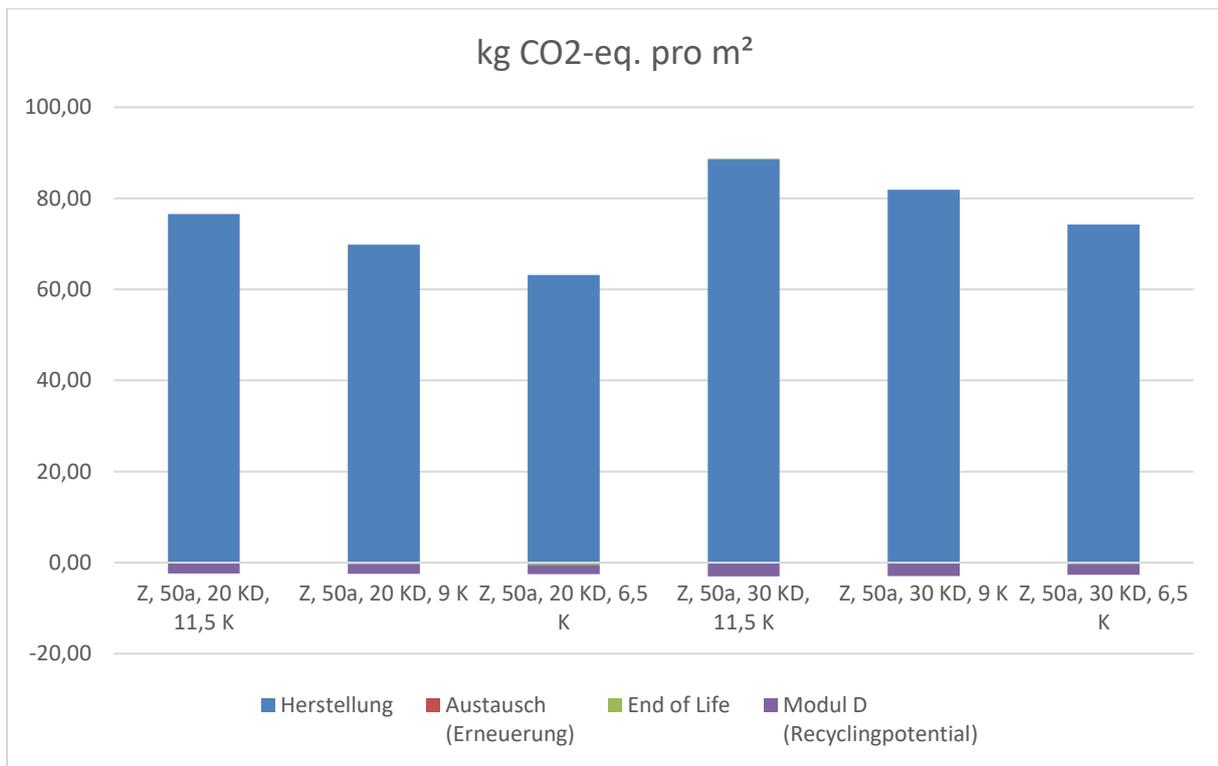


Abb. 5-7: Ergebnisse (grafisch) alle Varianten Ziegelverblendmauerwerk m. Ziegel ungefüllt über 50 Jahre

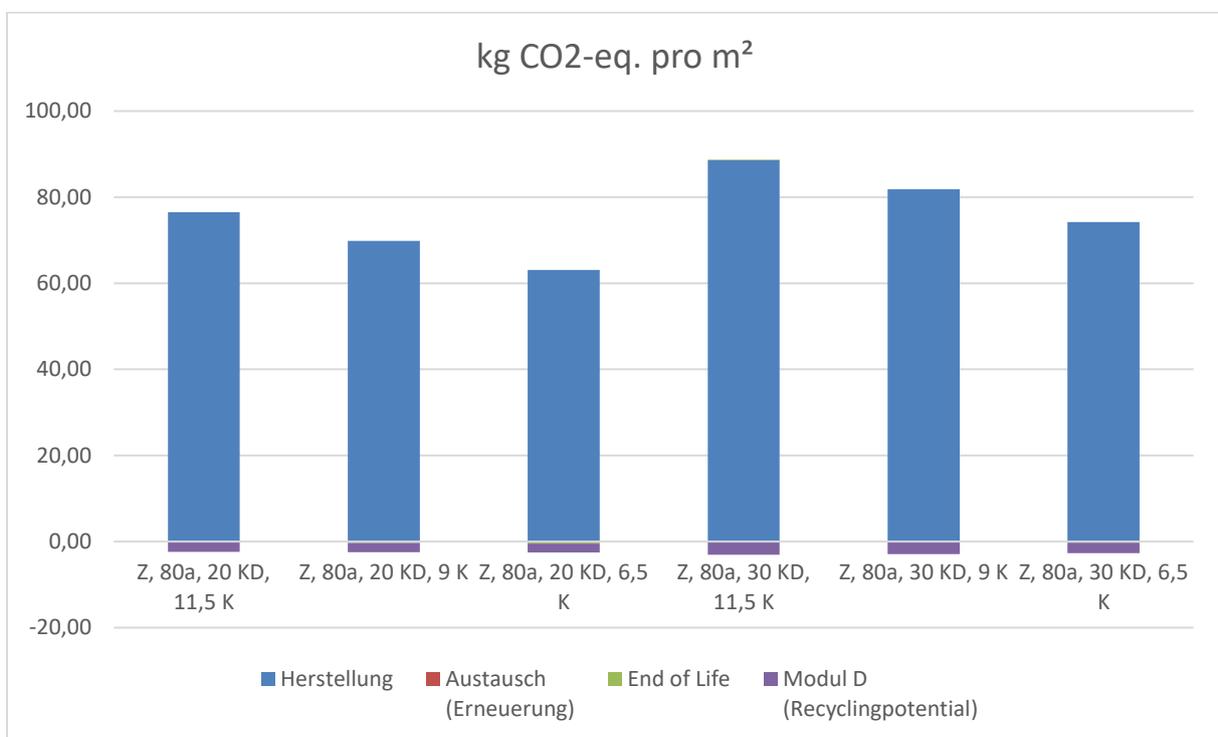


Abb. 5-8: Ergebnisse (grafisch) alle Varianten Ziegelverblendmauerwerk m. Ziegel ungefüllt über 80 Jahre

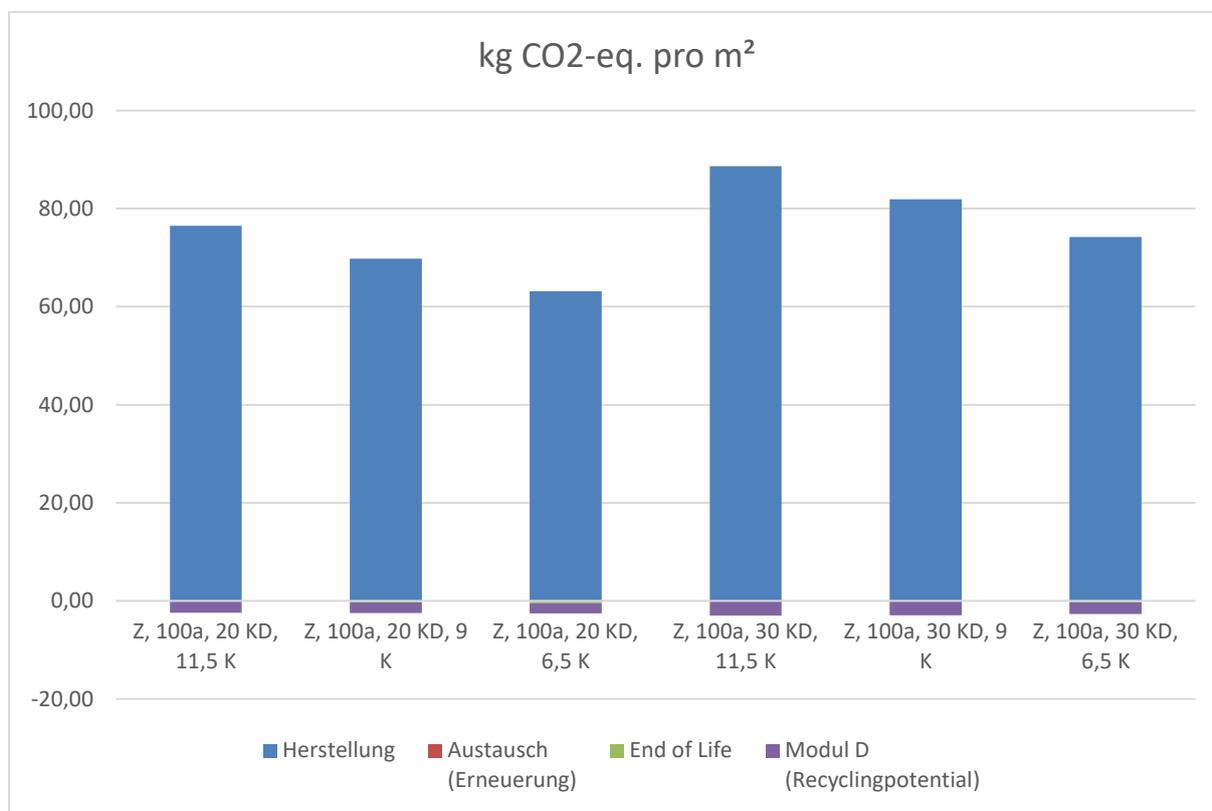


Abb. 5-9: Ergebnisse (grafisch) alle Varianten Ziegelverblendmauerwerk m. Ziegel ungefüllt ü. 100 Jahre

Tab. 5-3: Ergebnisse (tabellarisch) alle Varianten Ziegelverblendmauerwerk mit Ziegel ungefüllt

CO ₂ -Äquivalente absolut ^{*)} in kg					
*) für 1 m ² Außenwand und über gesamten Lebenszyklus von 50 80 100 Jahren					
Varianten	Lebenszyklusphasen				Summe Lebenszyklus (ohne Modul D)
	Herstellung	Austausch (Erneuerung)	End of Life	Modul D (Recyclingpotential)	
Z, 50a, 20 KD, 11,5 K	76,53	0,00	-0,07	-2,34	76,46
Z, 50a, 20 KD, 9 K	69,83	0,00	-0,28	-2,18	69,55
Z, 50a, 20 KD, 6,5 K	63,12	0,00	-0,49	-2,03	62,63
Z, 50a, 30 KD, 11,5 K	88,60	0,00	0,15	-3,03	88,74
Z, 50a, 30 KD, 9 K	81,89	0,00	-0,06	-2,87	81,83
Z, 50a, 30 KD, 6,5 K	74,22	0,00	-0,28	-2,41	73,95
Z, 80a, 20 KD, 11,5 K	76,53	0,00	-0,07	-2,34	76,46
Z, 80a, 20 KD, 9 K	69,83	0,00	-0,28	-2,18	69,55
Z, 80a, 20 KD, 6,5 K	63,12	0,00	-0,49	-2,03	62,63
Z, 80a, 30 KD, 11,5 K	88,60	0,00	0,15	-3,03	88,74
Z, 80a, 30 KD, 9 K	81,89	0,00	-0,06	-2,87	81,83
Z, 80a, 30 KD, 6,5 K	74,22	0,00	-0,28	-2,41	73,95
Z, 100a, 20 KD, 11,5 K	76,53	0,00	-0,07	-2,34	76,46
Z, 100a, 20 KD, 9 K	69,83	0,00	-0,28	-2,18	69,55
Z, 100a, 20 KD, 6,5 K	63,12	0,00	-0,49	-2,03	62,63
Z, 100a, 30 KD, 11,5 K	88,60	0,00	0,15	-3,03	88,74
Z, 100a, 30 KD, 9 K	81,89	0,00	-0,06	-2,87	81,83
Z, 100a, 30 KD, 6,5 K	74,22	0,00	-0,28	-2,41	73,95

5.1.4 Ergebnisse der Varianten für Ziegelverblendmauerwerk mit Stahlbeton

Abb. 5-10 bis Abb. 5-12 bzw. Tab. 5-4 zeigen die Ergebnisse aller Varianten des Ziegelverblendmauerwerks mit Stahlbeton für die Betrachtungszeiträume 50, 80 und 100 Jahre.

Folgende Kernergebnisse lassen sich konstatieren:

- ▶ Die Ausführungsvarianten unterscheiden sich jeweils für die Betrachtungszeiträume 50, 80 und 100 Jahre nicht, weil die technische Nutzungsdauer der Konstruktion(en) den Betrachtungszeitraum überschreitet (für 50 und 80 Jahre) bzw. einhält (für 100 Jahre) – insofern fällt kein Austausch (Erneuerung) (einzelner Bauteilschichten) und kein unterschiedliches Recyclingpotential an (die Ergebnisse für Herstellung und End of Life müssen aufgrund der Betrachtung von Absolutwerten ohnehin für alle Betrachtungszeiträume identisch sein).
- ▶ Umweltwirkungen bzw. CO₂-Äquivalente des End of Life und des Modul D spielen gegenüber den dominanten Werten für die Herstellungsphase nur eine stark untergeordnete Rolle.
- ▶ Absolute Höhe der Umweltwirkungen bzw. CO₂-Äquivalente der Ausführungsvarianten wird wie erwartet geprägt vom „Materialeinsatz“, d.h. je dicker/ stärker Dämmung und/ oder Verblendmauerwerk, umso höher die Ergebnisse.

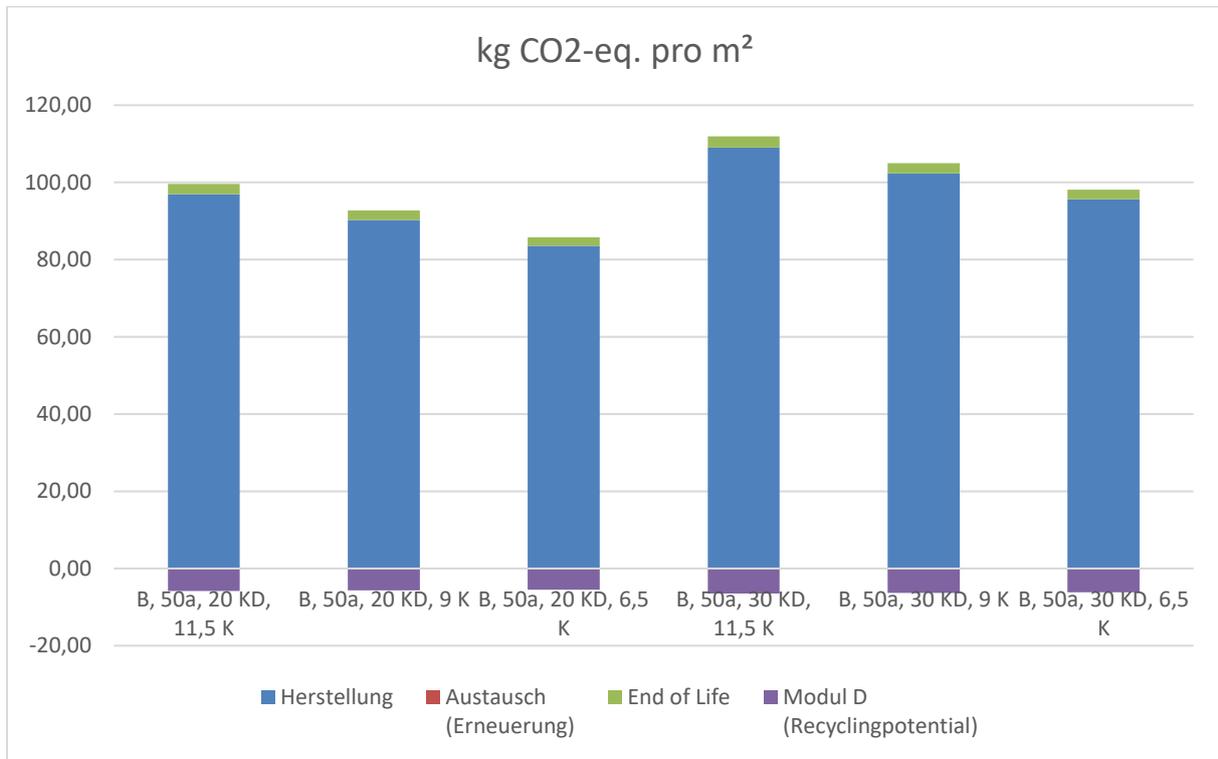


Abb. 5-10: Ergebnisse (grafisch) alle Varianten Ziegelverblendmauerwerk mit Stahlbeton über 50 Jahre

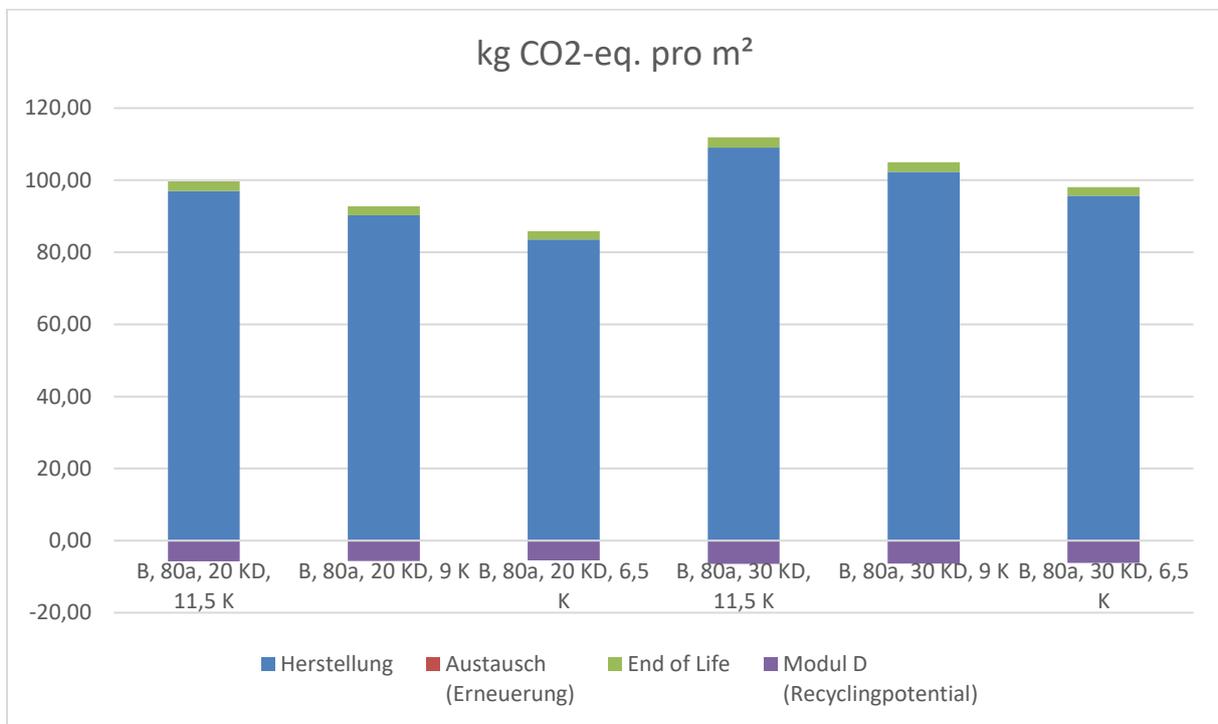


Abb. 5-11: Ergebnisse (grafisch) alle Varianten Ziegelverblendmauerwerk mit Stahlbeton über 80 Jahre

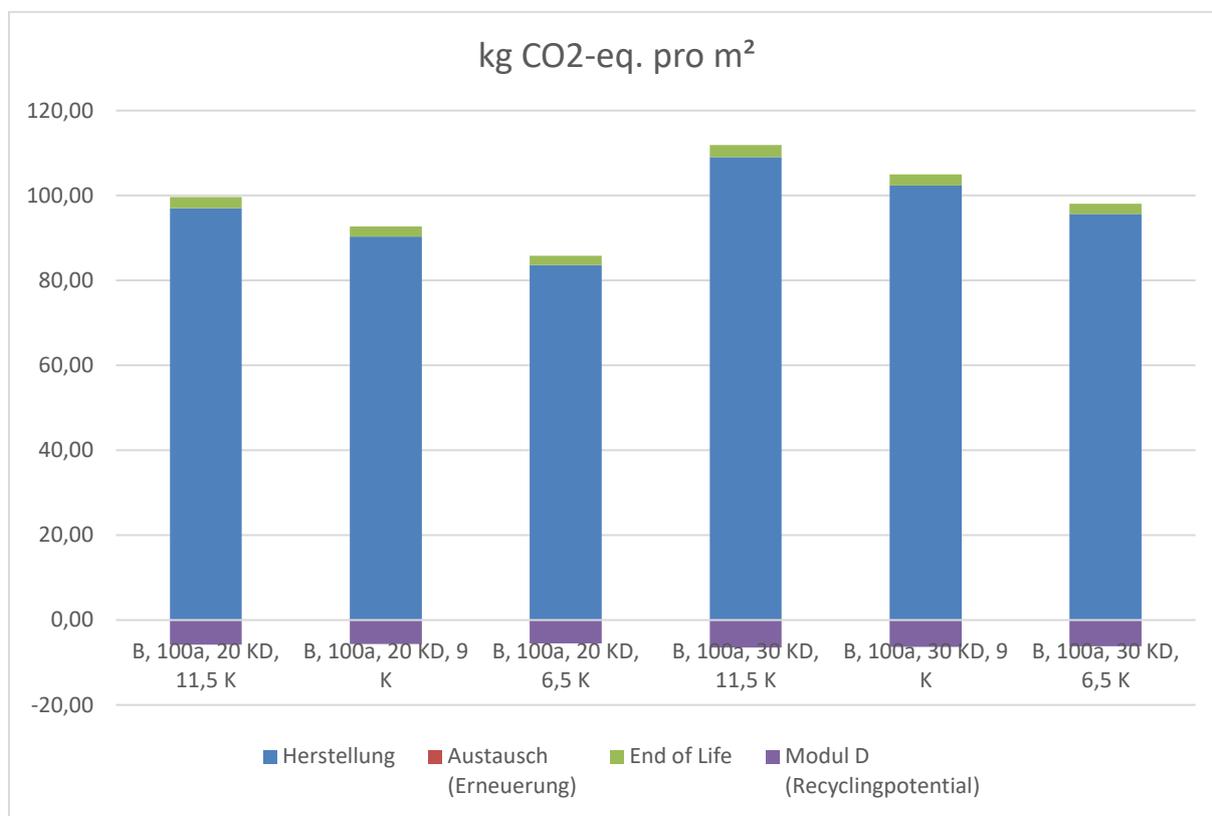


Abb. 5-12: Ergebnisse (grafisch) alle Varianten Ziegelverblendmauerwerk mit Stahlbeton über 100 Jahre

Tab. 5-4: Ergebnisse (tabellarisch) alle Varianten Ziegelverblendmauerwerk mit Stahlbeton

CO ₂ -Äquivalente absolut ^{*)} in kg					
*) für 1 m ² Außenwand und über gesamten Lebenszyklus von 50 80 100 Jahren					
Varianten	Lebenszyklusphasen				
	Herstellung	Austausch (Erneuerung)	End of Life	Modul D (Recyclingpotential)	Summe Lebenszyklus (ohne Modul D)
B, 50a, 20 KD, 11,5 K	96,98	0,00	2,66	-5,79	99,64
B, 50a, 20 KD, 9 K	90,28	0,00	2,44	-5,64	92,72
B, 50a, 20 KD, 6,5 K	83,58	0,00	2,23	-5,48	85,80
B, 50a, 30 KD, 11,5 K	109,05	0,00	2,87	-6,48	111,92
B, 50a, 30 KD, 9 K	102,34	0,00	2,66	-6,33	105,00
B, 50a, 30 KD, 6,5 K	95,64	0,00	2,44	-6,17	98,08
B, 80a, 20 KD, 11,5 K	96,98	0,00	2,66	-5,79	99,64
B, 80a, 20 KD, 9 K	90,28	0,00	2,44	-5,64	92,72
B, 80a, 20 KD, 6,5 K	83,58	0,00	2,23	-5,48	85,80
B, 80a, 30 KD, 11,5 K	109,05	0,00	2,87	-6,48	111,92
B, 80a, 30 KD, 9 K	102,34	0,00	2,66	-6,33	105,00
B, 80a, 30 KD, 6,5 K	95,64	0,00	2,44	-6,17	98,08
B, 100a, 20 KD, 11,5 K	96,98	0,00	2,66	-5,79	99,64
B, 100a, 20 KD, 9 K	90,28	0,00	2,44	-5,64	92,72
B, 100a, 20 KD, 6,5 K	83,58	0,00	2,23	-5,48	85,80
B, 100a, 30 KD, 11,5 K	109,05	0,00	2,87	-6,48	111,92
B, 100a, 30 KD, 9 K	102,34	0,00	2,66	-6,33	105,00
B, 100a, 30 KD, 6,5 K	95,64	0,00	2,44	-6,17	98,08

5.1.5 Ergebnisse der Varianten für Ziegelverblendmauerwerk mit Holzständer

Abb. 5-13 bis Abb. 5-15 bzw. Tab. 5-5 zeigen die Ergebnisse aller Varianten des Ziegelverblendmauerwerks mit Holzständer für die Betrachtungszeiträume 50, 80 und 100 Jahre.

Folgende Kernergebnisse lassen sich konstatieren:

- ▶ Die Ausführungsvarianten für den Betrachtungszeitraum 50 Jahre sowie 80 / 100 Jahre unterscheiden sich für Ziegelverblendmauerwerk mit Holzständer leicht, weil Teile des Schichtaufbaus (Wandbekleidung Gipskarton innen) gemäß [5] mit einer technischen Nutzungsdauer von 50 Jahren bei Betrachtungszeiträumen von 80 / 100 Jahren ausgetauscht/ erneuert werden müssen – insofern müssen sich die Ergebniswerte für Austausch (Erneuerung) und Modul D unterscheiden (während die Ergebnisse für Herstellung und End of Life aufgrund der Betrachtung von Absolutwerten weiterhin auch hier identisch sein müssen).
- ▶ Umweltwirkungen für End of Life und Modul D haben hier wegen des biogenen Konstruktionsmaterials Holz (End of Life: Freisetzung biogen im Holz gebundenes CO₂ durch thermische Verwertung/ Verbrennung | Modul D: Substitutionspotential fossiler CO₂-intensiverer Brennstoffe durch thermische Verwertung) außerdem deutlich größere Gesamtergebnis-Anteile.
- ▶ Aus den vergleichsweise niedrigen Ergebnisanteilen der Herstellung wird die CO₂-Senkenwirkung des Konstruktionsmaterials Holz in seiner Ausgangsgestalt als Baum erkennbar
- ▶ Die absolute Höhe der Umweltwirkungen bzw. CO₂-Äquivalente der Ausführungsvarianten wird auch hier erwartungsgemäß grds. geprägt vom „Materialeinsatz“, d.h. je dicker/ stärker Dämmung und/ oder Verblendmauerwerk, umso höher die Ergebnisse.

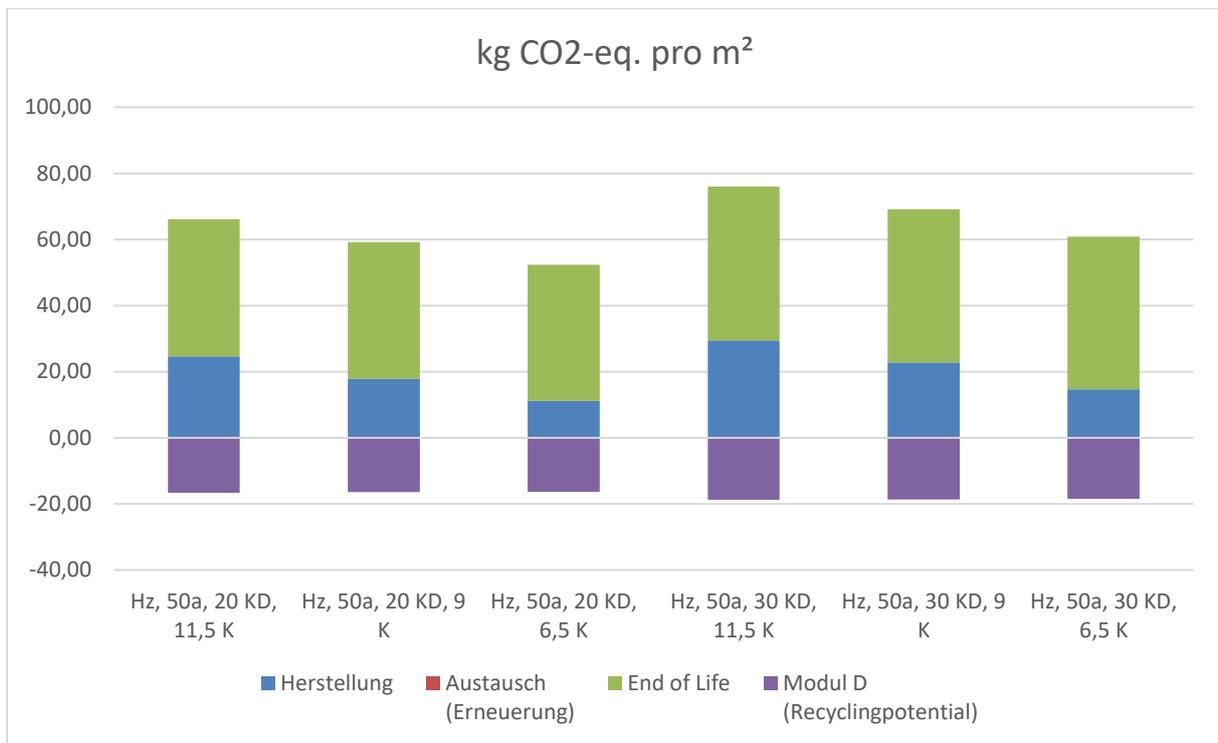


Abb. 5-13: Ergebnisse (grafisch) alle Varianten Ziegelverblendmauerwerk mit Holzständer über 50 Jahre

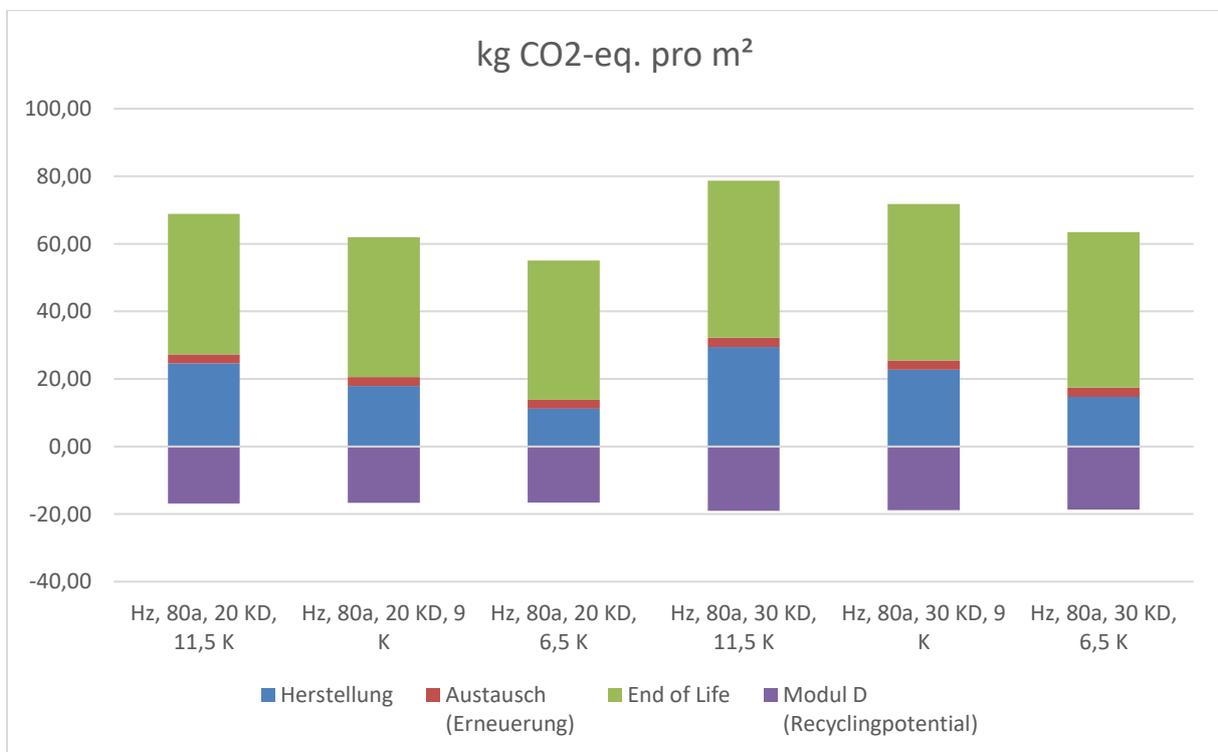


Abb. 5-14: Ergebnisse (grafisch) alle Varianten Ziegelverblendmauerwerk mit Holzständer über 80 Jahre

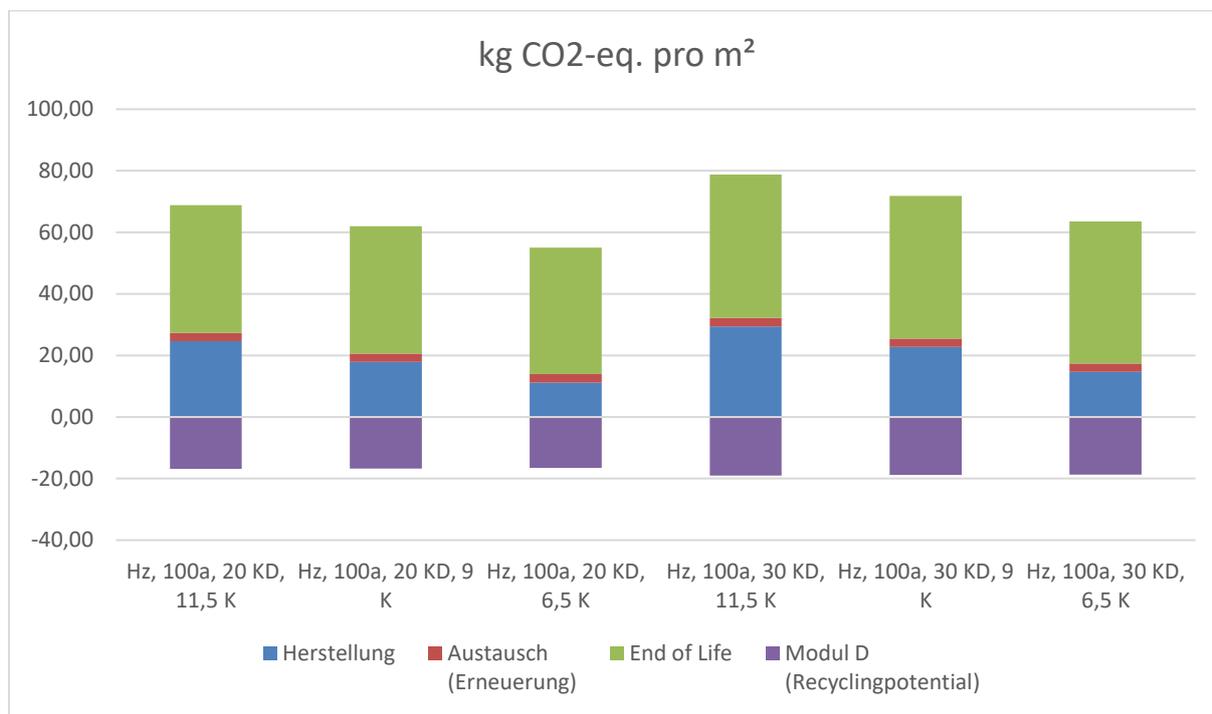


Abb. 5-15: Ergebnisse (grafisch) alle Varianten Ziegelverblendmauerwerk mit Holzständer über 100 Jahre

Tab. 5-5: Ergebnisse (tabellarisch) alle Varianten Ziegelverblendmauerwerk mit Holzständer

CO ₂ -Äquivalente absolut ^{*)} in kg					
*) für 1 m ² Außenwand und über gesamten Lebenszyklus von 50 80 100 Jahren					
Varianten	Lebenszyklusphasen				Summe Lebenszyklus (ohne Modul D)
	Herstellung	Austausch (Erneuerung)	End of Life	Modul D (Recyclingpotential)	
Hz, 50a, 20 KD, 11,5 K	24,60	0,00	41,55	-16,59	66,15
Hz, 50a, 20 KD, 9 K	17,90	0,00	41,34	-16,44	59,23
Hz, 50a, 20 KD, 6,5 K	11,19	0,00	41,12	-16,29	52,32
Hz, 50a, 30 KD, 11,5 K	29,46	0,00	46,58	-18,74	76,04
Hz, 50a, 30 KD, 9 K	22,76	0,00	46,37	-18,59	69,12
Hz, 50a, 30 KD, 6,5 K	14,71	0,00	46,11	-18,41	60,82
Hz, 80a, 20 KD, 11,5 K	24,60	2,71	41,55	-16,86	68,86
Hz, 80a, 20 KD, 9 K	17,90	2,71	41,34	-16,71	61,95
Hz, 80a, 20 KD, 6,5 K	11,19	2,71	41,12	-16,56	55,03
Hz, 80a, 30 KD, 11,5 K	29,46	2,71	46,58	-19,02	78,75
Hz, 80a, 30 KD, 9 K	22,76	2,71	46,37	-18,87	71,84
Hz, 80a, 30 KD, 6,5 K	14,71	2,71	46,11	-18,68	63,54
Hz, 100a, 20 KD, 11,5 K	24,60	2,71	41,55	-16,86	68,86
Hz, 100a, 20 KD, 9 K	17,90	2,71	41,34	-16,71	61,95
Hz, 100a, 20 KD, 6,5 K	11,19	2,71	41,12	-16,56	55,03
Hz, 100a, 30 KD, 11,5 K	29,46	2,71	46,58	-19,02	78,75
Hz, 100a, 30 KD, 9 K	22,76	2,71	46,37	-18,87	71,84
Hz, 100a, 30 KD, 6,5 K	14,71	2,71	46,11	-18,68	63,54

5.1.6 Zwischenfazit zu Varianten für Ziegelverblendmauerwerk

Gemäß Ergebnisdarstellung der Abschnitte 5.1.1 ff. verhalten sich alle Ausführungsvarianten für Ziegelverblendmauerwerk über die unterschiedlichen Betrachtungszeiträume (mit kleineren Einschränkungen bei der Variante Holzständer) nahezu identisch. Ein Zwischenfazit für die Umweltwirkungen der Ausführungsvarianten für Ziegelverblendmauerwerk ist daher stellvertretend für die Basisvariante 20 cm Kerndämmung (KD) und 11,5 cm Verblender (K) möglich.

Die höchsten Umweltwirkungen über den jeweiligen gesamten Lebenszyklus (ohne Modul D gemäß ökobilanziellen Vorgaben des Leitfadens Nachhaltiges Bauen des Bundes) verursacht die Variante Beton (ca. 100 kg CO₂-Äquivalent pro m² Wandfläche), gefolgt von Kalksandstein (KS; ca. 99 kg) und Porenbeton (PB; ca. 96 kg). Die niedrigsten Umweltwirkungen der mineralisch basierten Tragkonstruktionen weist die Variante Ziegel ungefüllt (Z; ca. 76 kg) auf; die Variante Holzständer (Hz) weist mit ca. 66 kg die niedrigsten Ergebnisse aller Varianten auf.

Es zeigt sich an den Ergebnissen, dass diese – sachlogisch korrekt – vom Konstruktionsmaterial geprägt werden: einerseits bzgl. der Umweltwirkungen der Herstellungsphase und andererseits bzgl. der Umweltwirkungen des End of Life (siehe v.a. Variante Holzständer).

5.2 Ergebnisse der Variante Wärmedämmverbundsystem

Abb. 5-16 bzw. Tab. 5-6 zeigen die Ergebnisse aller Varianten des Wärmedämmverbundsystems für die Betrachtungszeiträume 50, 80 und 100 Jahre.

Folgende Kernergebnisse lassen sich konstatieren:

- ▶ Die Ausführungsvariante des Wärmedämmverbundsystems zeigt hinsichtlich der CO₂-Äquivalente deutliche Abweichungen zwischen den verschiedenen Betrachtungszeiträumen 50, 80 und 100 Jahre. Hier schlagen die auf 30 Jahre festgelegten technischen Nutzungsdauern eines Wärmedämmverbundsystems durch. Für den Betrachtungszeitraum 80 Jahre sind die Umweltwirkungen aus dem Austausch (Erneuerung) bereits ähnlich groß wie die Umweltwirkungen der Herstellung der Gesamt-Konstruktion; für die 100-Jahre-Perspektive werden die Gesamtergebnisse sogar vom Austausch (Erneuerung) dominiert.

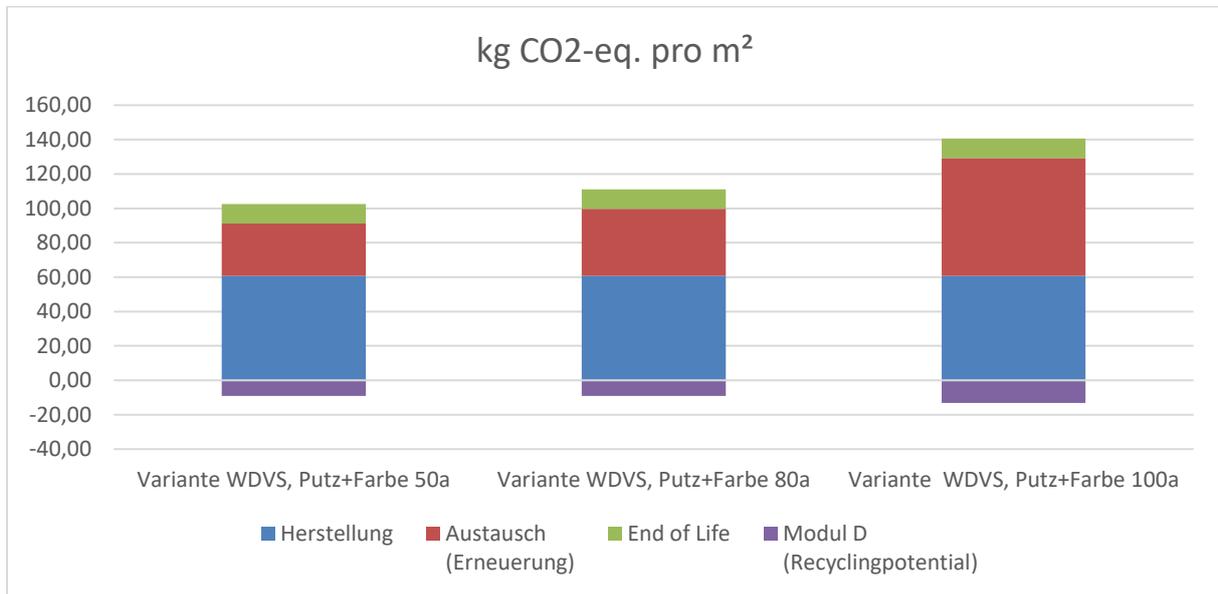


Abb. 5-16: Ergebnisse (grafisch) Variante Wärmedämmverbundsystem über 50 | 80 | 100 Jahre

Tab. 5-6: Ergebnisse (tabellarisch) Variante Wärmedämmverbundsystem

CO ₂ -Äquivalente absolut ^{*)} in kg					
*) für 1 m ² Außenwand und über gesamten Lebenszyklus von 50 80 100 Jahren					
Varianten	Lebenszyklusphasen				
	Herstellung	Austausch (Erneuerung)	End of Life	Modul D (Recyclingpotential)	Summe Lebenszyklus (ohne Modul D)
Variante WDVS, Putz+Farbe 50a	60,65	30,50	11,32	-9,03	102,47
Variante WDVS, Putz+Farbe 80a	60,65	39,10	11,32	-9,04	111,07
Variante WDVS, Putz+Farbe 100a	60,65	68,60	11,32	-13,12	140,57

5.3 Ergebnisse der Varianten Holzständerkonstruktion mit Holzverschalung

bis Abb. 5-19 bzw. Tab. 5-7 zeigen die Ergebnisse aller Varianten der Holzständerkonstruktion mit Holzverschalung für die Betrachtungszeiträume 50, 80 und 100 Jahre.

Folgende Kernergebnisse lassen sich konstatieren:

- ▶ Die Ergebnisse verdeutlichen einerseits über den niedrigen bzw. negativen Ergebnisanteil der Herstellung (biogene CO₂-Speicherung im Holz) und von Modul D (Substitution von fossilen Brennstoffen bei energetischer Holzverwertung) und den hohen Ergebnisanteil des End of Life (Freisetzung CO₂ durch energetische Verwertung Holz als Standardszenario) den hohen Anteil von Holzwerkstoffen in den betrachteten Varianten.
- ▶ Die beiden Ausführungsvarianten der Holzständerkonstruktion mit Holzverschalung unterscheiden sich andererseits hinsichtlich der Umweltwirkungen bzw. CO₂-Äquivalente weniger untereinander als vielmehr zwischen den verschiedenen Betrachtungszeiträumen 50, 80 und 100 Jahre. Hier schlagen die auf 35 Jahre festgelegten technischen Nutzungsdauern der Holzverschalung und die auf 70 Jahre festgelegten technischen Nutzungsdauern der tragenden Holzkonstruktion inkl. Gefachdämmung durch, indem sich die Umweltwirkungen bzw. CO₂-Äquivalente für Austausch (Erneuerung) gegenüber der 50 Jahre-Betrachtung ca. verdreifachen.

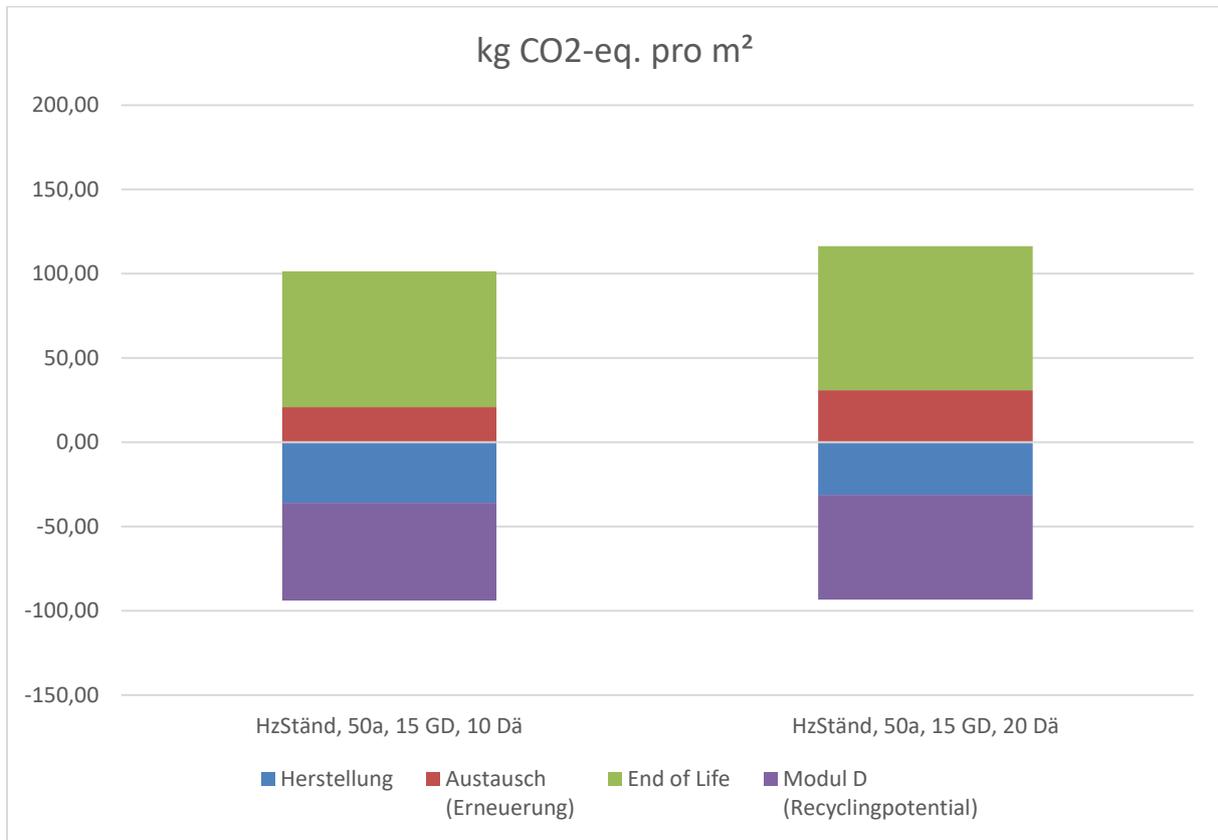


Abb. 5-17: Ergebnisse (grafisch) Varianten Holzständerkonstruktion mit Holzverschalung über 50 Jahre

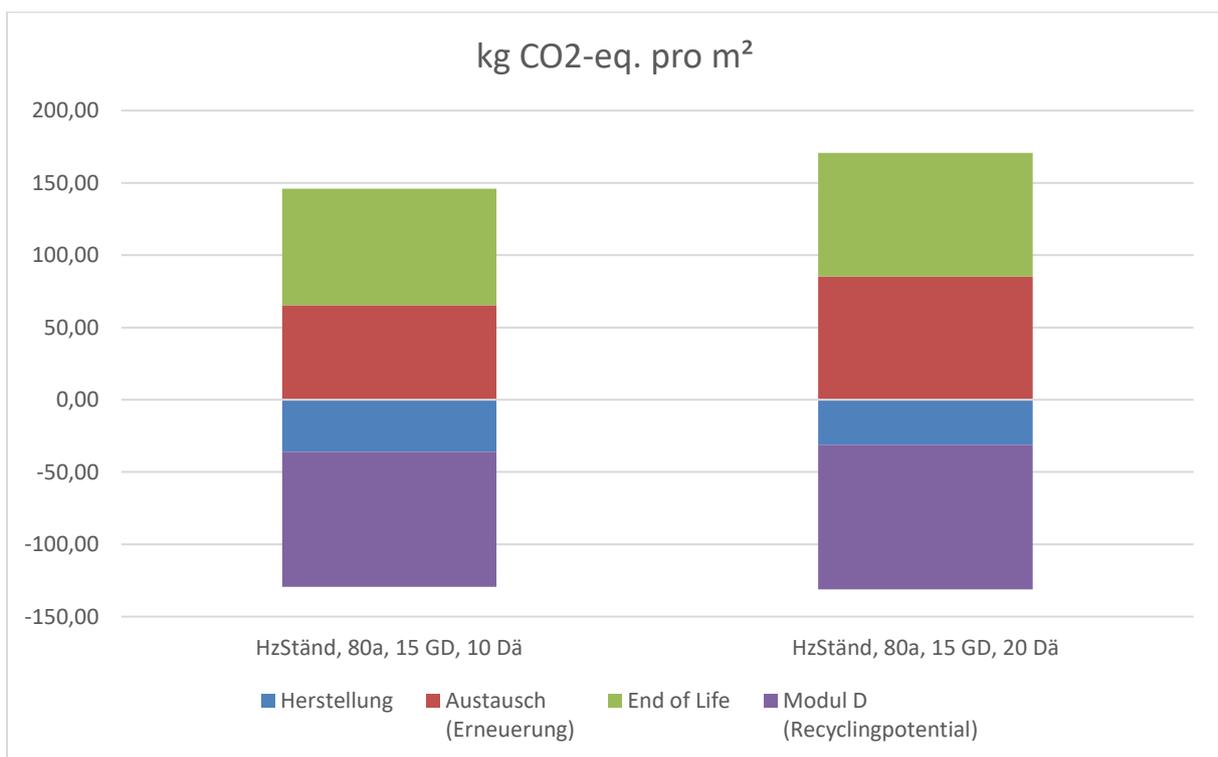


Abb. 5-18: Ergebnisse (grafisch) Varianten Holzständerkonstruktion mit Holzverschalung über 80 Jahre

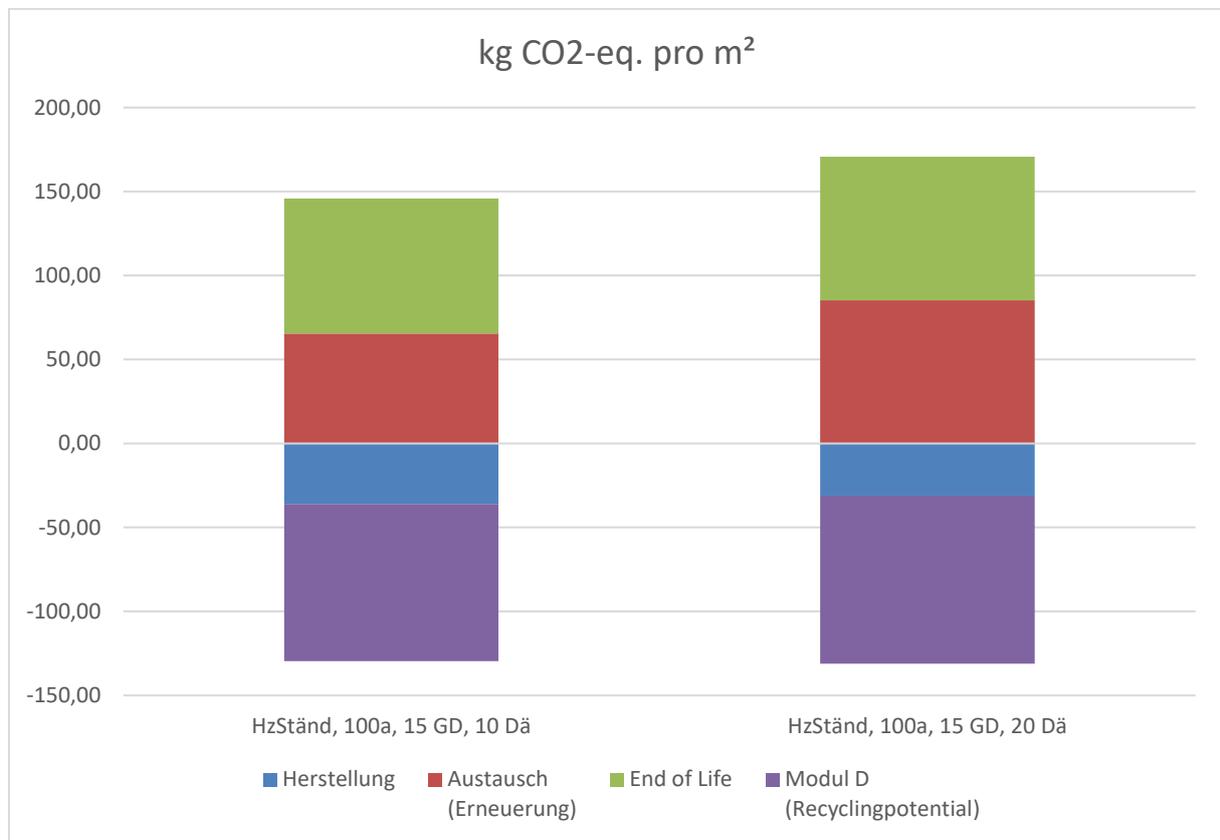


Abb. 5-19: Ergebnisse (grafisch) Varianten Holzständerkonstruktion mit Holzverschalung über 100 Jahre

Tab. 5-7: Ergebnisse (tabellarisch) Varianten Holzständerkonstruktion mit Holzverschalung

CO ₂ -Äquivalente absolut ^{*)} in kg					
*) für 1 m ² Außenwand und über gesamten Lebenszyklus von 50 80 100 Jahren					
Varianten	Lebenszyklusphasen				
	Herstellung	Austausch (Erneuerung)	End of Life	Modul D (Recyclingpotential)	Summe Lebenszyklus (ohne Modul D)
HzStänd, 50a, 15 GD, 10 Dä	-36,05	20,95	80,49	-57,81	65,39
HzStänd, 50a, 15 GD, 20 Dä	-31,19	30,84	85,52	-62,12	85,17
HzStänd, 80a, 15 GD, 10 Dä	-36,05	65,39	80,49	-93,44	109,83
HzStänd, 80a, 15 GD, 20 Dä	-31,19	85,17	85,52	-99,91	139,50
HzStänd, 100a, 15 GD, 10 Dä	-36,05	65,39	80,49	-93,44	109,83
HzStänd, 100a, 15 GD, 20 Dä	-31,19	85,17	85,52	-99,91	139,50

5.4 Gesamtergebnisdarstellung

5.4.1 Gesamtergebnisse für 50-Jahre-Betrachtung

Abb. 5-200 bis **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**² bzw. Tab. 5-8 zeigen die Ergebnisse aller Varianten des Ziegelverblendmauerwerks (unterschiedliche Konstruktionsmaterialien, unterschiedliche Dämmstärken Kerndämmung, unterschiedliche Stärken Verblendmauerwerk) sowie Varianten WDVS und Holzständerkonstruktion mit Holzverschalung für den Betrachtungszeitraum 50 Jahre.

Folgende Kernergebnisse des Vergleichs aller Varianten lassen sich konstatieren:

- ▶ Die Gesamtumweltwirkungen der WDVS-Varianten liegen für 50 Jahre ungefähr auf dem Ergebnisniveau der Ziegelverblendmauerwerk-Varianten Porenbeton, Stahlbeton und Kalksandstein in der Standard-Variation 20 cm Kerndämmung und 11,5 cm Verblender-Stärke.
- ▶ Die Gesamtumweltwirkungen der WDVS-Varianten liegen außerdem bereits für 50 Jahre oberhalb der Ergebnisniveaus der Ziegelverblendmauerwerk-Varianten Ziegel ungefüllt und vor allem Holzständer in der Standard-Variation 20 cm Kerndämmung und 11,5 cm Verblender-Stärke.
- ▶ Bei den geringeren Verblender-Stärken (9 und 6,5 cm) liegen die Ergebnisse aller Ziegelverblendmauerwerk-Varianten bereits für 50 Jahre unterhalb des Niveaus der WDVS-Varianten.
- ▶ Bei den Ziegelverblendmauerwerk-Varianten mit 30 cm Kerndämmung liegen die Ergebnisse wiederum auf höherem Niveau, können die Ergebnisse der WDVS-Variante aber spätestens mit der Konfiguration Verblender-Stärke 6,5 cm unterschreiten.
- ▶ Die Ergebnisse der Varianten Holzständerkonstruktion mit Holzverschalung liegen für 50 Jahre leicht unter bzw. (je nach Verblender-Stärken) etwa auf Niveau der Ergebnisse der Ziegelverblendmauerwerk-Varianten mit einer Holztragkonstruktion.

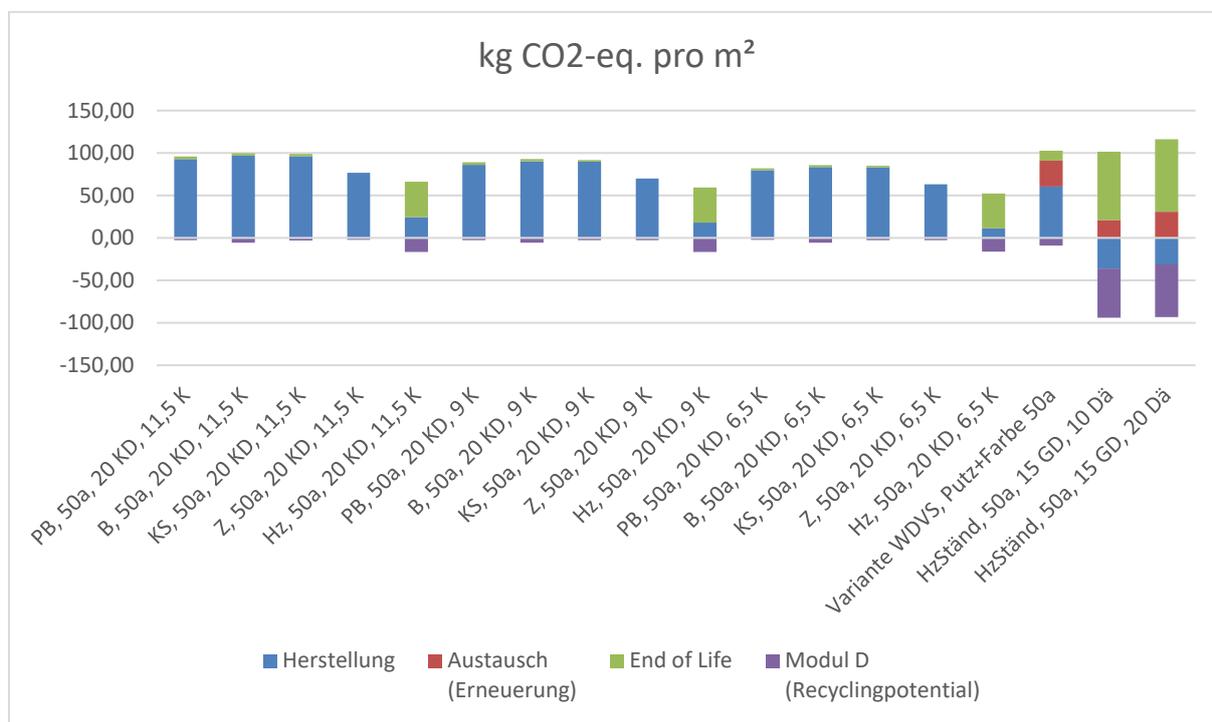


Abb. 5-20: Ergebnisse (grafisch) alle Varianten 20 cm Dämmung (KD) + WDVS + HzStänd über 50 Jahre

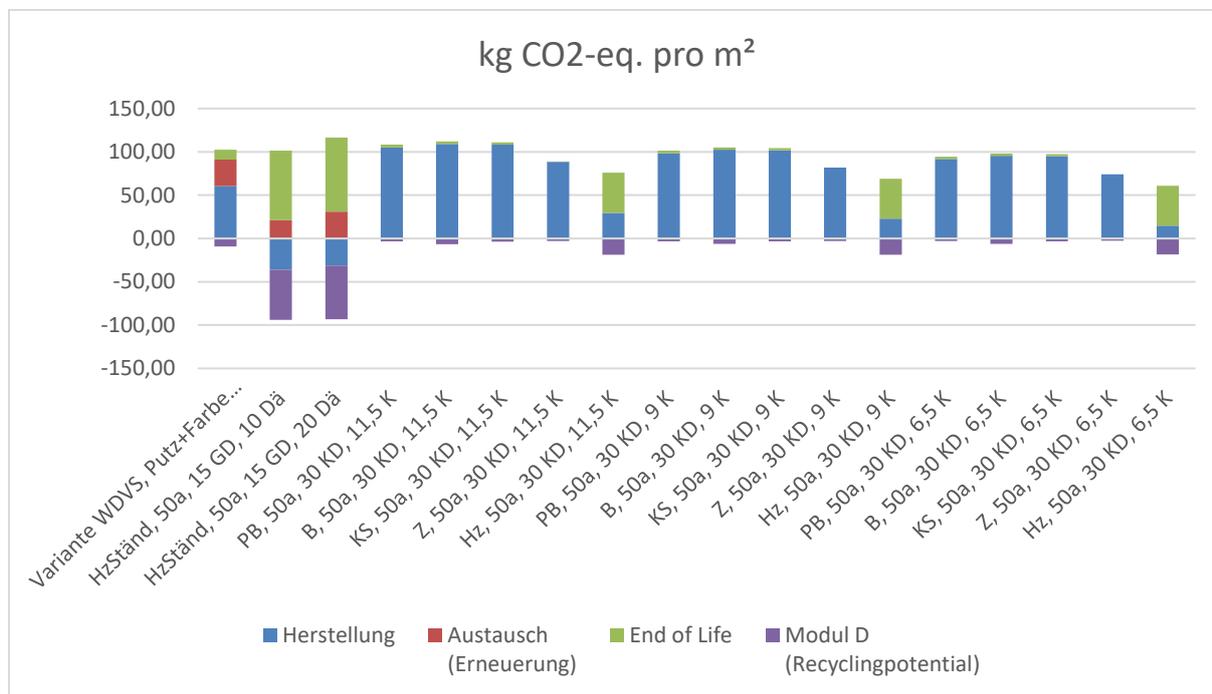


Abb. 5-21: Ergebnisse (grafisch) alle Varianten 30 cm Dämmung (KD) + WDVS + HzStänd über 50 Jahre

Tab. 5-8: Ergebnisse (tabellarisch) alle Varianten + WDVS + HzStänd über 50 Jahre

CO ₂ -Äquivalente absolut ^{*)} in kg					
*) für 1m ² Außenwand und über gesamten Lebenszyklus von 50 Jahren					
Varianten	Lebenszyklusphasen				Summe Lebenszyklus (ohne Modul D)
	Herstellung	Austausch (Erneuerung)	End of Life	Modul D (Recyclingpotential)	
FB, 50a, 20KD, 11,5K	32,38	0,00	2,95	-2,64	95,93
B, 50a, 20KD, 11,5K	36,38	0,00	2,66	-5,79	99,64
KS, 50a, 20KD, 11,5K	36,45	0,00	2,41	-2,94	98,85
Z, 50a, 20KD, 11,5K	76,53	0,00	-0,07	-2,34	76,46
Ht, 50a, 20KD, 11,5K	24,60	0,00	41,55	-16,59	66,15
FB, 50a, 20KD, 9K	86,28	0,00	2,74	-2,49	89,02
B, 50a, 20KD, 9K	90,28	0,00	2,44	-5,64	92,72
KS, 50a, 20KD, 9K	89,74	0,00	2,19	-2,78	91,93
Z, 50a, 20KD, 9K	69,83	0,00	-0,28	-2,16	69,55
Ht, 50a, 20KD, 9K	17,90	0,00	41,34	-16,44	59,23
FB, 50a, 20KD, 6,5K	79,57	0,00	2,53	-2,34	82,10
B, 50a, 20KD, 6,5K	83,58	0,00	2,23	-5,48	85,80
KS, 50a, 20KD, 6,5K	83,04	0,00	1,98	-2,63	85,02
Z, 50a, 20KD, 6,5K	63,12	0,00	-0,49	-2,03	62,63
Ht, 50a, 20KD, 6,5K	11,19	0,00	41,12	-16,29	52,32
Variante WDVS, Putz+Farbe 50a	60,65	30,50	11,32	-9,03	102,47
HtStänd, 50a, 15GD, 10Da	-36,05	20,95	80,49	-57,81	65,39
HtStänd, 50a, 15GD, 20Da	-31,19	30,84	85,52	-62,12	85,17
FB, 50a, 30KD, 11,5K	105,05	0,00	3,17	-3,33	108,21
B, 50a, 30KD, 11,5K	109,05	0,00	2,87	-6,48	111,92
KS, 50a, 30KD, 11,5K	108,51	0,00	2,62	-3,63	111,13
Z, 50a, 30KD, 11,5K	88,60	0,00	0,15	-3,03	88,74
Ht, 50a, 30KD, 11,5K	29,46	0,00	46,58	-18,74	76,04
FB, 50a, 30KD, 9K	98,34	0,00	2,96	-3,18	101,30
B, 50a, 30KD, 9K	102,34	0,00	2,66	-6,33	105,00
KS, 50a, 30KD, 9K	101,81	0,00	2,41	-3,47	104,21
Z, 50a, 30KD, 9K	81,89	0,00	-0,06	-2,87	81,83
Ht, 50a, 30KD, 9K	22,76	0,00	46,37	-18,59	69,12
FB, 50a, 30KD, 6,5K	91,64	0,00	2,74	-3,03	94,38
B, 50a, 30KD, 6,5K	95,64	0,00	2,44	-6,17	98,08
KS, 50a, 30KD, 6,5K	95,10	0,00	2,19	-3,32	97,30
Z, 50a, 30KD, 6,5K	74,22	0,00	-0,28	-2,41	73,95
Ht, 50a, 30KD, 6,5K	14,71	0,00	46,11	-18,41	60,82

5.4.2 Gesamtergebnisse für 80-Jahre-Betrachtung

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.2 bis **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**4 bzw. Tab. 5-9 zeigen die Ergebnisse aller Varianten des Ziegelverblendmauerwerks (unterschiedliche Konstruktionsmaterialien, unterschiedliche Dämmstärken Kerndämmung, unterschiedliche Stärken Verblendmauerwerk) sowie Varianten WDVS und Holzständerkonstruktion mit Holzverschalung für den Betrachtungszeitraum 80 Jahre.

Folgende Kernergebnisse des Vergleichs aller Varianten lassen sich konstatieren:

- ▶ Die Gesamtumweltwirkungen der WDVS-Variante liegen für 80 Jahre oberhalb der Ergebnisse aller Ziegelverblendmauerwerk-Varianten, unabhängig von der Konfiguration der Dämm- und Verblender-Stärke
- ▶ Die Gesamtumweltwirkungen der Varianten Holzständerkonstruktion mit Holzverschalung liegen für 80 Jahre ungefähr auf einem Ergebnisniveau mit den Ziegelverblendmauerwerk-Varianten; für die Ziegelverblendmauerwerk-Varianten mit Tragkonstruktionen in Ziegel und Holz und für kleinere Dämm- und Verblender-Stärken sogar darüber.

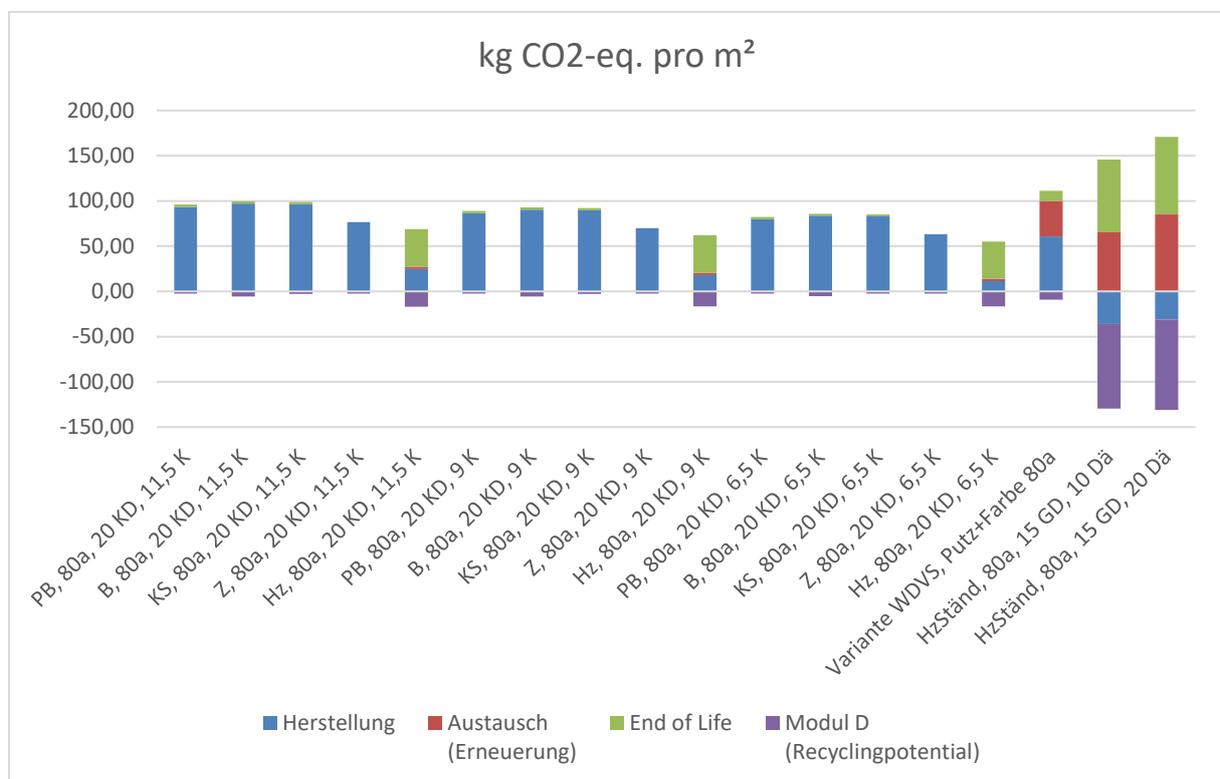


Abb. 5-22: Ergebnisse (grafisch) alle Varianten 20 cm Dämmung (KD) + WDVS + HzStänd über 80 Jahre

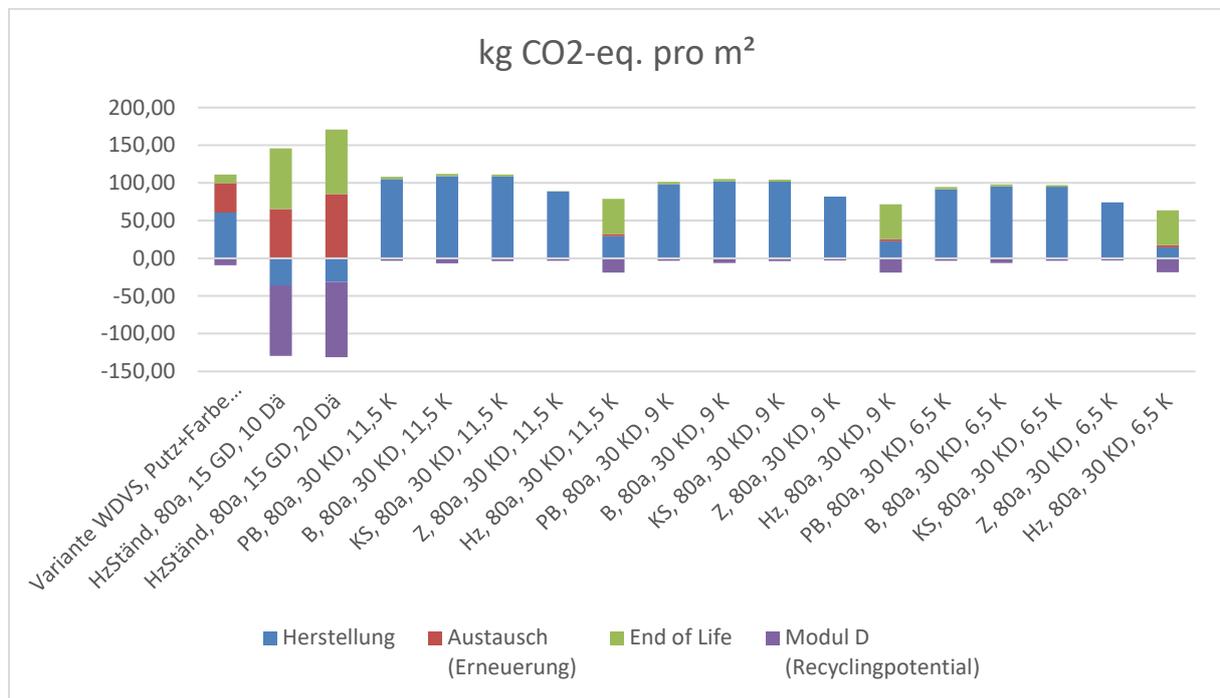


Abb. 5-23: Ergebnisse (grafisch) alle Varianten 30 cm Dämmung (KD) + WDVS + HzStänd über 80 Jahre

Tab. 5-9: Ergebnisse (tabellarisch) alle Varianten + WDVS + HzStänd über 80 Jahre

CO ₂ -Äquivalente absolut ¹ in kg					
²⁾ für 1 m ² Außenwand und über gesamten Lebenszyklus von 80 Jahren					
Varianten	Lebenszyklusphasen				Summe Lebenszyklus (ohne Modul D)
	Herstellung	Austausch (Erneuerung)	End of Life	Modul D (Recyclingpotential)	
FB, 80a, 20KD, 11,5K	32,38	0,00	2,35	-2,64	95,93
B, 80a, 20KD, 11,5K	36,38	0,00	2,68	-5,79	99,64
KS, 80a, 20KD, 11,5K	36,45	0,00	2,41	-2,94	98,85
Z, 80a, 20KD, 11,5K	76,53	0,00	-0,07	-2,34	76,46
H _z , 80a, 20KD, 11,5K	24,60	2,71	41,55	-16,66	68,86
FB, 80a, 20KD, 9K	86,28	0,00	2,74	-2,49	89,02
B, 80a, 20KD, 9K	90,28	0,00	2,44	-5,64	92,72
KS, 80a, 20KD, 9K	89,74	0,00	2,19	-2,78	91,93
Z, 80a, 20KD, 9K	63,63	0,00	-0,28	-2,18	69,55
H _z , 80a, 20KD, 9K	17,90	2,71	41,34	-16,71	61,95
FB, 80a, 20KD, 6,5K	79,57	0,00	2,53	-2,34	82,10
B, 80a, 20KD, 6,5K	83,58	0,00	2,23	-5,48	85,80
KS, 80a, 20KD, 6,5K	83,04	0,00	1,98	-2,63	85,02
Z, 80a, 20KD, 6,5K	63,12	0,00	-0,49	-2,03	62,63
H _z , 80a, 20KD, 6,5K	11,19	2,71	41,12	-16,56	55,03
Variante WDVS, Putz+Farbe 80a	60,65	39,10	11,32	-9,04	111,07
H _z Ständ, 80a, 15GD, 10Da	-36,05	65,39	80,49	-93,44	109,83
H _z Ständ, 80a, 15GD, 20Da	-31,19	85,17	85,52	-99,91	139,50
FB, 80a, 30KD, 11,5K	105,05	0,00	3,17	-3,33	108,21
B, 80a, 30KD, 11,5K	109,05	0,00	2,87	-6,48	111,92
KS, 80a, 30KD, 11,5K	108,51	0,00	2,62	-3,63	111,13
Z, 80a, 30KD, 11,5K	88,60	0,00	0,15	-3,03	88,74
H _z , 80a, 30KD, 11,5K	29,46	2,71	46,59	-19,02	78,75
FB, 80a, 30KD, 9K	98,34	0,00	2,36	-3,18	101,30
B, 80a, 30KD, 9K	102,34	0,00	2,66	-6,33	105,00
KS, 80a, 30KD, 9K	101,81	0,00	2,41	-3,47	104,21
Z, 80a, 30KD, 9K	81,89	0,00	-0,06	-2,87	81,83
H _z , 80a, 30KD, 9K	22,76	2,71	46,37	-16,67	71,84
FB, 80a, 30KD, 6,5K	91,64	0,00	2,74	-3,03	94,38
B, 80a, 30KD, 6,5K	95,64	0,00	2,44	-6,17	98,08
KS, 80a, 30KD, 6,5K	95,10	0,00	2,19	-3,32	97,30
Z, 80a, 30KD, 6,5K	74,22	0,00	-0,28	-2,41	73,95
H _z , 80a, 30KD, 6,5K	14,71	2,71	46,11	-16,68	63,54

5.4.3 Gesamtergebnisse für 100-Jahre-Betrachtung

Abb. 5-24 bis Abb. 5-25 bzw. Tab. 5-10 zeigen die Ergebnisse aller Varianten des Ziegelverblendmauerwerks (unterschiedliche Konstruktionsmaterialien, unterschiedliche Dämmstärken Kerndämmung, unterschiedliche Stärken Verblendmauerwerk) sowie Varianten WDVS und Holzständerkonstruktion mit Holzverschalung für den Betrachtungszeitraum 100 Jahre.

Folgende Kernergebnisse des Vergleichs aller Varianten lassen sich konstatieren:

- ▶ Die Gesamtumweltwirkungen der WDVS-Variante liegen für 100 Jahre deutlich oberhalb der Ergebnisse aller Ziegelverblendmauerwerk-Varianten, unabhängig von der Konfiguration der Dämm- und Verblender-Stärke
- ▶ Für die Gesamtumweltwirkungen der Varianten Holzständerkonstruktion mit Holzverschalung gelten für 100 Jahre die obigen Ausführungen zu den Ergebnissen über 80 Jahre analog.

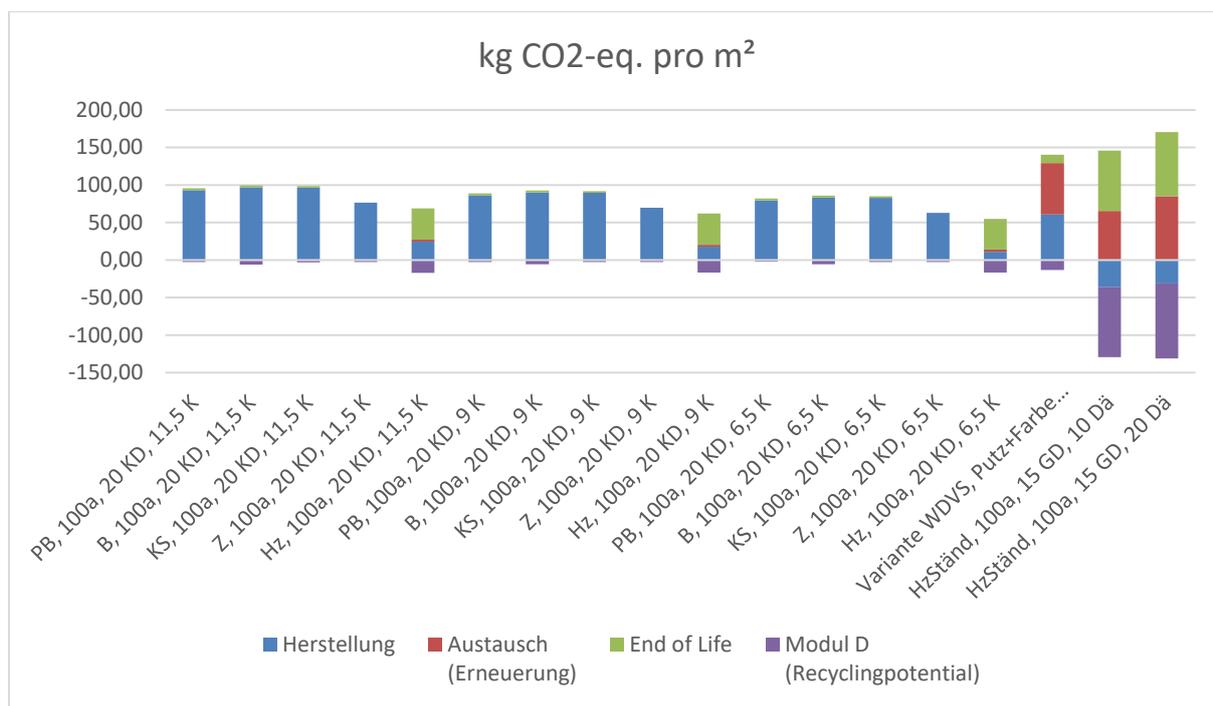


Abb. 5-24: Ergebnisse (grafisch) alle Varianten 20 cm Dämmung (KD) + WDVS + HzStänd über 100 Jahre

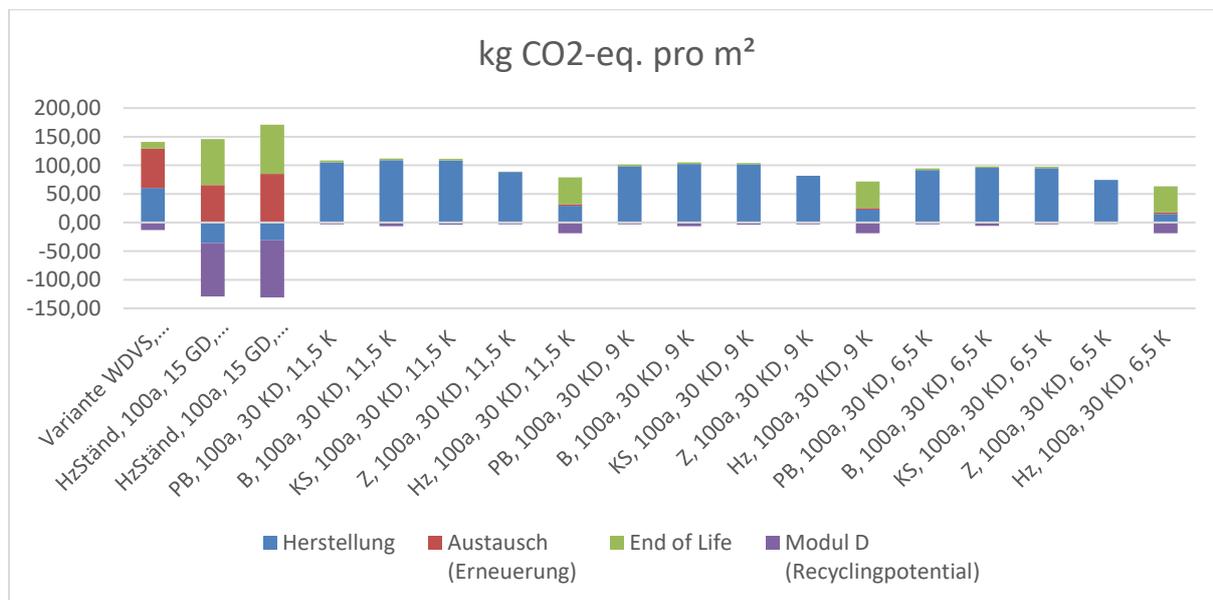


Abb. 5-25: Ergebnisse (grafisch) alle Varianten 30 cm Dämmung (KD) + WDVS + HzStänd über 100 Jahre

Tab. 5-10: Ergebnisse (tabellarisch) alle Varianten + WDVS + HzStänd über 100 Jahre

CO ₂ -Äquivalente <u>absolut</u> ^{*)} in kg					
*) für 1 m ² Außenwand und über gesamten Lebenszyklus von 100 Jahren					
Varianten	Lebenszyklusphasen				Summe Lebenszyklus (ohne Modul D)
	Herstellung	Austausch (Erneuerung)	End of Life	Modul D (Recyclingpotential)	
FB, 100a, 20KD, 11,5K	92,98	0,00	2,95	-2,64	95,93
B, 100a, 20KD, 11,5K	96,98	0,00	2,66	-5,79	99,64
KS, 100a, 20KD, 11,5K	96,45	0,00	2,41	-2,94	98,85
Z, 100a, 20KD, 11,5K	78,53	0,00	-0,07	-2,34	76,46
HZ, 100a, 20KD, 11,5K	24,60	2,71	41,55	-16,86	68,86
FB, 100a, 20KD, 9K	86,28	0,00	2,74	-2,49	89,02
B, 100a, 20KD, 9K	90,28	0,00	2,44	-5,64	92,72
KS, 100a, 20KD, 9K	89,74	0,00	2,19	-2,78	91,93
Z, 100a, 20KD, 9K	69,83	0,00	-0,28	-2,18	69,55
HZ, 100a, 20KD, 9K	17,90	2,71	41,34	-16,71	61,95
FB, 100a, 20KD, 6,5K	79,57	0,00	2,53	-2,34	82,10
B, 100a, 20KD, 6,5K	83,58	0,00	2,23	-5,48	85,80
KS, 100a, 20KD, 6,5K	83,04	0,00	1,98	-2,63	85,02
Z, 100a, 20KD, 6,5K	63,12	0,00	-0,49	-2,03	62,63
HZ, 100a, 20KD, 6,5K	11,19	2,71	41,12	-16,56	55,03
Variante WDVS, Putz+Farbe 100a	60,65	68,60	11,32	-13,12	140,57
HZStänd, 100a, 15GD, 10Da	-36,05	65,39	80,49	-93,44	109,83
HZStänd, 100a, 15GD, 20Da	-31,19	85,17	85,52	-99,91	139,50
FB, 100a, 30KD, 11,5K	105,05	0,00	3,17	-3,33	108,21
B, 100a, 30KD, 11,5K	109,05	0,00	2,87	-6,48	111,92
KS, 100a, 30KD, 11,5K	108,51	0,00	2,62	-3,63	111,13
Z, 100a, 30KD, 11,5K	88,60	0,00	0,15	-3,03	88,74
HZ, 100a, 30KD, 11,5K	29,46	2,71	46,58	-19,02	78,75
FB, 100a, 30KD, 9K	98,34	0,00	2,96	-3,18	101,30
B, 100a, 30KD, 9K	102,34	0,00	2,66	-6,33	105,00
KS, 100a, 30KD, 9K	101,81	0,00	2,41	-3,47	104,21
Z, 100a, 30KD, 9K	81,89	0,00	-0,06	-2,87	81,83
HZ, 100a, 30KD, 9K	22,76	2,71	46,37	-18,87	71,84
FB, 100a, 30KD, 6,5K	91,64	0,00	2,74	-3,03	94,38
B, 100a, 30KD, 6,5K	95,64	0,00	2,44	-6,17	98,08
KS, 100a, 30KD, 6,5K	95,10	0,00	2,19	-3,32	97,30
Z, 100a, 30KD, 6,5K	74,22	0,00	-0,28	-2,41	73,95
HZ, 100a, 30KD, 6,5K	14,71	2,71	46,11	-18,68	63,54

6 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

