

# Studie Dietenbach

## Vergleichende Ökobilanzanalyse unterschiedlicher Bauweisen



**Ersteller:**

Werkgemeinschaft HHK Plan GmbH  
Fuchseckstr. 7, 70188 Stuttgart  
post@werkgemeinschaft-hhk.de

**Autoren:**

Jannis Reger, Lukas Sigwart  
Darstellung:  
Lukas Sigwart, Jakob Königer

**Auftraggeber:**

Bauwirtschaft Baden-Württemberg e.V.  
Hohenzollernstr. 25, 70178 Stuttgart

**Peer Review:**

Volker Auch-Schwelk,  
Sustainable Strategies, Stuttgart

Stand: Februar 2026

## Abstract

Der Gebäudesektor ist in Deutschland ein zentraler Handlungsbereich für die Erreichung von Klimaschutzzielen. Neben dem Energieverbrauch im Betrieb rücken material- und herstellungsbedingte Umweltwirkungen („graue Emissionen“) zunehmend in den Fokus, da sie durch die Wahl von Bauweisen, Baustoffen und konstruktiven Systemen maßgeblich beeinflusst werden. Vor diesem Hintergrund untersucht die vorliegende Studie die graue Energie und die Treibhausgasemissionen unterschiedlicher Bauweisen sowie deren Relation zu bauteilbezogenen Kostenkennwerten. Auch die Auswirkungen durch den Nutzerstrom (B6.3) werden entsprechend berücksichtigt. Ziel ist eine quantitative, vergleichende Darstellung der aktuellen Möglichkeiten des Hochbaus in einem einheitlichen und nachvollziehbaren Rahmen.

Als Untersuchungsgegenstand dient ein Mustergebäude des mehrgeschossigen Wohnungsbaus (Gebäudeklasse 5) unter den Rahmenbedingungen des städtebaulichen Projekts „Dietenbach“ in Freiburg im Breisgau. Das Gebäude wurde so entworfen, dass es in unterschiedlichen konstruktiven Ausprägungen abbildbar ist. In dieser Zusammenfassung werden vier Hauptvarianten dargestellt: konventioneller Massivbau (v01), Hybridbau (v02), Holzbau (v03) sowie optimierter Massivbau (v04).

Die ökobilanzielle Berechnung erfolgte mit dem eLCA-Tool des Bundes auf Basis der ÖKOBAUDAT 2024\_I (A2). Die Bilanzierung basiert auf einer Referenznutzungsdauer von 50 Jahren und weist die Ergebnisse als normierte Kennwerte bezogen auf die Nettoraumfläche (NRF) aus. Berücksichtigt wurden die Herstellungsphase (A1–A3), Instandhaltung und Austausch (B1–B5, B7), nutzerbezogene Energieanteile (B6.3) sowie die Entsorgungsphase (C1–C4). Das Modul D wird separat ausgewiesen, aber nicht in der Summe berücksichtigt. Die betrieblich bedingte Energie (B6.1) wurde im Ansatz aufgrund der klimaneutralen Quartiersversorgung nicht bilanziert. Für die Kosten wurden bauteilbezogene Kennwerte (€/m<sup>2</sup>) herangezogen; zusätzlich werden aggregierte Kostensummen für ausgewählte Bauteile als Vergleichsgröße ausgewiesen. Eine vollständige Kostenermittlung des Gesamtgebäudes ist nicht Bestandteil der Datengrundlage.

Die Ergebnisse auf Gebäudeebene zeigen Gesamtwerte der Treibhausgasemissionen (GWP) zwischen 16,824 und 18,276 kg CO<sub>2</sub>-Äq./m<sup>2</sup> NRF·a (v01–v04) sowie Gesamtwerte des nicht erneuerbaren Primärenergieaufwands (PEne) zwischen 53,643 und 56,395 kWhPEne/m<sup>2</sup> NRF·a. Auf Bauteilebene werden Kennwerte für wesentliche Bauteilgruppen ausgewiesen und ermöglichen eine differenzierte Darstellung der angesetzten Bauteilvarianten.

## Inhaltsverzeichnis

|                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Abstract .....</b>                                           | <b>3</b>  |
| <b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>                              | <b>4</b>  |
| <b>1. Einleitung .....</b>                                      | <b>5</b>  |
| <b>2. Stand der Forschung und theoretische Grundlagen .....</b> | <b>7</b>  |
| <b>3. Methodik.....</b>                                         | <b>7</b>  |
| <b>4. Grundlagen der Berechnung .....</b>                       | <b>9</b>  |
| <b>5. Datengrundlage und Untersuchungsmethode .....</b>         | <b>13</b> |
| <b>6. Ergebnisse .....</b>                                      | <b>13</b> |
| <b>7. Ergebniszusammenfassung.....</b>                          | <b>22</b> |
| <b>8. Diskussion und Aussagegrenzen.....</b>                    | <b>23</b> |
| <b>Literatur- und Quellenverzeichnis .....</b>                  | <b>24</b> |

## Abkürzungsverzeichnis

| <b>Abkürzung</b> | <b>Bedeutung</b>                                                                   |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| BGF              | Bruttogrundfläche                                                                  |
| CLT              | Brettsper Holz (Cross Laminated Timber)                                            |
| eLCA             | Ökobilanzierungstool für Gebäude (Bund)                                            |
| EPD              | Umweltproduktdeklaration                                                           |
| GWP              | Global Warming Potential (Treibhausgasemissionen in CO <sub>2</sub> -Äquivalenten) |
| HBV              | Holz-Beton-Verbund                                                                 |
| HRB              | Holzrahmenbau                                                                      |
| KG               | Kostengruppe nach DIN 276                                                          |
| NRF              | Nettoraumfläche                                                                    |
| PEne             | Nicht erneuerbare Primärenergie                                                    |
| THG              | Treibhausgasemissionen                                                             |
| RND              | Referenznutzungsdauer                                                              |

## 1. Einleitung

Der Gebäudesektor zählt zu den maßgeblichen Verursachern von Treibhausgasemissionen. Nach Auswertungen des Umweltbundesamtes entfallen in Deutschland rund 30–35 % der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen auf den Gebäudesektor, wenn sowohl der Gebäudebetrieb als auch die Herstellung der Bauprodukte berücksichtigt werden. Während der Energieverbrauch im Betrieb durch regulatorische Anforderungen und Effizienzsteigerungen schrittweise reduziert wurde, gewinnt der Anteil der material- und herstellungsbedingten Emissionen („graue Emissionen“) zunehmend an Bedeutung. [1]

Neben dem Energieverbrauch im Gebäudebetrieb sind insbesondere die Herstellung mineralischer Baustoffe, die Zementproduktion sowie die Stahlherstellung emissionsintensiv. Nach Angaben des Umweltbundesamtes verursacht die Zementherstellung allein rund 2 % der gesamten deutschen CO<sub>2</sub>-Emissionen und stellt damit einen der größten industriellen Einzelbeiträge dar. [2]

Mit zunehmender energetischer Optimierung von Neubauten verschiebt sich der relative Anteil der Emissionen weiter in Richtung der Errichtungsphase. Untersuchungen des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung zeigen, dass bei energieeffizienten Neubauten der Anteil der grauen Emissionen bereits heute 40–60 % der lebenszyklusbezogenen Gesamtemissionen betragen kann. [3]

Vor diesem Hintergrund besteht die Notwendigkeit, die Art und Weise des Bauens systematisch zu hinterfragen. Neben Maßnahmen zur Reduktion des Energiebedarfs im Betrieb gewinnen Strategien zur Minimierung der grauen Energie, zur Substitution emissionsintensiver Baustoffe sowie zur konstruktiven Optimierung von Trag- und Hüllstrukturen an Bedeutung. Die Quantifizierung dieser Effekte erfolgt im Gebäudebereich in der Regel durch Ökobilanzen (Life Cycle Assessments, LCA), welche die Umweltauswirkungen eines Gebäudes über definierte Lebenszyklusphasen hinweg abbilden.

Über mehrere Jahrzehnte war die Baupraxis im Wohnungsbau durch etablierte, weitgehend standardisierte Konstruktionsweisen geprägt. In den letzten Jahren ist jedoch eine deutliche Dynamik in der Weiterentwicklung von Bauweisen, Produkten und regulatorischen Rahmenbedingungen zu beobachten.

Ein wesentlicher Aspekt betrifft die Weiterentwicklung des Holzbaus. Durch technische Innovationen, Fortschritte in der industriellen Fertigung von Brettsperrholz- und Holz-Beton-Verbundsystemen sowie durch angepasste brandschutzrechtliche Regelungen ist es inzwischen möglich, mehrgeschossige Gebäude bis in die Gebäudeklasse 5 in Holz- oder Holz-Hybridbauweise zu realisieren. [4][5]

Parallel dazu ist eine deutliche Weiterentwicklung auf Seiten der Baustoffhersteller festzustellen. Produktentwicklungen zielen zunehmend auf die Reduktion gesundheitsrelevanter Emissionen sowie auf die Verringerung des ökologischen Fußabdrucks. Insbesondere die Themen Toxizität, Innenraumemissionen und graue Emissionen stehen im Fokus der Produktentwicklung. Die systematische Erfassung dieser Eigenschaften erfolgt über Umweltproduktdeklarationen, die zunehmend als Grundlage für ökobilanzielle Bewertungen herangezogen werden. [6][7]

Vor diesem Hintergrund wurde die vorliegende Studie durchgeführt. Ziel ist es, die derzeit verfügbaren konstruktiven Möglichkeiten hinsichtlich ihrer grauen Energie und ihrer Treibhausgasemissionen systematisch zu untersuchen und in einen miteinander vergleichbaren Rahmen zu bringen. Ergänzend

werden ausgewählte Kostenkennwerte betrachtet, um die ökologischen Kennzahlen in Relation zu den bauteilbezogenen Herstellungskosten zu setzen.

Um der Untersuchung einen konkreten Praxisbezug zu geben, wurde das städtebauliche Entwicklungsgebiet Dietenbach in Freiburg im Breisgau als Anwendungsfall gewählt. [8]

Zur Durchführung der Vergleichsberechnung wurde ein Mustergebäude entworfen, das den allgemein gültigen Anforderungen des städtebaulichen Entwurfs entspricht. Auf Grundlage dieses Entwurfs wurden vier konstruktive Hauptvarianten entwickelt: v01 Konventioneller Massivbau, v02 Hybridbau, v03 Holzbau, v04 Optimierter Massivbau. Die Varianten wurden jeweils mit eLCA untersucht; die Rahmenparameter aus dem städtebaulichen Projekt (u. a. Energieversorgung) wurden übernommen. Kostenseitig wurden die Bauteile anhand statistischer Kostenkennwerte (BKI) verglichen.



**Abbildung 1:** Isometrien der Vorder- und Rückansicht des Entwurfs (eigene Darstellung)

## 2. Stand der Forschung und theoretische Grundlagen

Die ökobilanzielle Bewertung von Gebäuden ist seit mehreren Jahrzehnten Gegenstand wissenschaftlicher und praxisorientierter Arbeiten. Als methodischer Standard hat sich hierfür die Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Assessment, LCA) etabliert. Im Gebäudekontext dient die LCA dazu, Umweltauswirkungen über definierte Lebenszyklusphasen hinweg systematisch zu quantifizieren und vergleichbar zu machen. Die methodische Grundlage bildet die normierte Gebäudeökobilanz nach DIN EN 15978; die Bewertung der Bauprodukte erfolgt auf Basis von Umweltproduktdeklarationen (EPD) gemäß DIN EN 15804+A2.

In der aktuellen Diskussion verschiebt sich der Schwerpunkt der Betrachtung von der ausschließlich betriebsbezogenen Energieeffizienz hin zu einer integrierten Lebenszyklusperspektive. Hintergrund ist, dass die betriebsbedingten Emissionen in Neubauprojekten durch Effizienzanforderungen und Dekarbonisierungsstrategien tendenziell sinken, während die herstellungsbedingten Emissionen („graue Emissionen“) aus Baustoffproduktion, Transport und Errichtung relativ an Bedeutung gewinnen. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit, Bauweisen nicht allein typologisch, sondern anhand konkreter Bauteilaufbauten, Materialqualitäten und Datensätze zu analysieren.

Für die Anwendung im deutschen Planungs- und Förderkontext sind nationale Instrumente und Datengrundlagen relevant. Die ÖKOBAUDAT stellt eine zentrale Datenbasis dar; das eLCA-Tool des Bundes verwendet diese Datensätze für die modellbasierte Bilanzierung von Gebäuden. Die Ergebnisse werden üblicherweise als normierte Kennwerte bezogen auf eine Bezugsfläche ausgewiesen; zusätzlich wird eine Referenz-Nutzungsdauer festgelegt. Methodisch wesentlich ist eine konsistente Behandlung der Nutzungsphase, insbesondere hinsichtlich Austauschzyklen (B4) und der Abgrenzung betriebsbedingter Energieanteile (B6).

Neben der ökologischen Dimension wird in Forschung und Praxis eine ökonomische Kontextualisierung angestrebt, da konstruktive Änderungen regelmäßig Kostenwirkungen haben. In frühen Planungsphasen wird hierfür häufig eine bauteilbezogene Kostenkennwertbetrachtung auf Basis statistischer Kennwerte eingesetzt. Die vorliegende Studie folgt diesem Vorgehen, indem ein konkretes Mustergebäude unter definierten Randbedingungen modelliert, konstruktive Varianten in einem einheitlichen Bilanzrahmen abgebildet und Ergebnisse ökologisch (GWP, PEn<sub>e</sub>) sowie ökonomisch (bauteilbezogene Kostenkennwerte und Bauteilstärken) ausgewiesen werden.

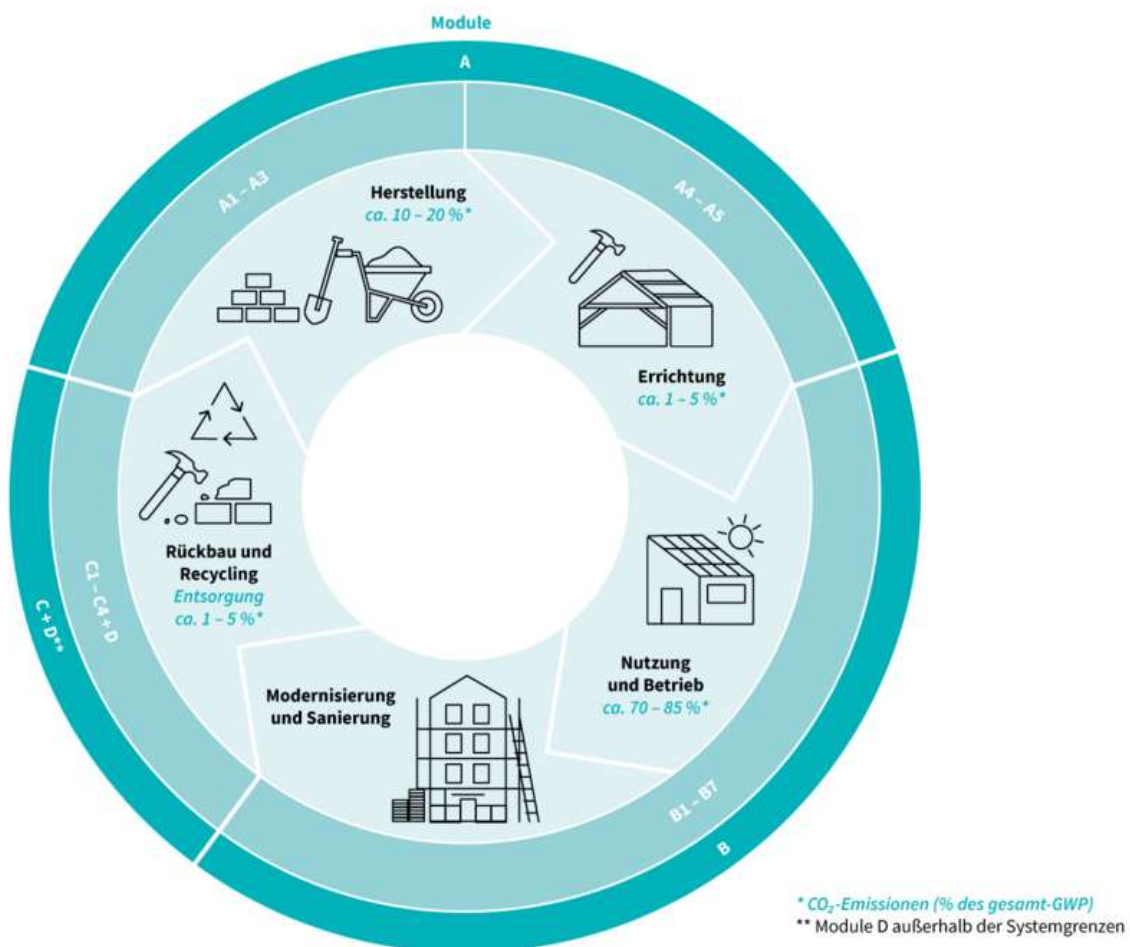
## 3. Methodik

Die vorliegende Untersuchung ist als vergleichende Studie (vergleichende Ökobilanz- und Kostenanalyse) konzipiert. Gegenstand ist ein einheitliches Mustergebäude, das in mehreren konstruktiven Varianten modelliert und unter identischen Randbedingungen bilanziert wird. Ziel des Untersuchungsdesigns ist es, Unterschiede in den Indikatoren und in ausgewählten Kostenkennwerten auf die Variation der Bauweise bzw. einzelner konstruktiver Hauptbauteile zurückzuführen. Zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit werden Geometrie, Nutzung, energetische Rahmenbedingungen, technische Anlagen sowie sämtliche nicht variantenspezifischen Bauteile in allen Modellvarianten gleich angesetzt; variiert werden ausschließlich die konstruktiven Bauteile gemäß Variantenlogik.

Die Ökobilanzierung erfolgt mit dem eLCA-Tool auf Grundlage der Datensätze der ÖKOBAUDAT (Version 2024\_I, Datensatzstandard A2). Die Ergebnisgrößen werden als standardisierte Kennwerte auf die Bezugsgröße Nettoraumfläche (NRF) normiert und zeitbezogen ausgewiesen. Für die betrachteten Indikatoren werden Treibhausgasemissionen als Global Warming Potential (GWP, in kg CO<sub>2</sub>-Äq./m<sup>2</sup> NRF·a) und der nicht erneuerbare Primärenergieaufwand (PEne, in kWhPEne/m<sup>2</sup> NRF·a) herangezogen. Als Referenz-Nutzungsdauer wird eine Gebäudegesamtnutzungsdauer von 50 Jahren angesetzt.

Die Systemgrenzen orientieren sich an der in der Studie angewendeten Modulstruktur. Berücksichtigt werden die Herstellungsphase A1–A3, die Nutzungsphase mit den Modulen B1–B5 sowie B7, die nutzerbezogene Energie in B6.3 sowie die Entsorgungsphase C1–C4. Modul D wird separat ausgewiesen, jedoch in der Summe nicht berücksichtigt. Die betrieblich bedingte Energie des Gebäudes (B6.1) wird nicht bilanziert, da für den Anwendungsfall eine klimaneutrale Energieversorgung des Quartiers als Randbedingung angesetzt wird.

Parallel zur Ökobilanz erfolgt eine Kostenbetrachtung auf Bauteilebene. Die Kostenkennwerte werden nicht als vollständige Baukostenberechnung des Gesamtgebäudes verstanden, sondern als standardisierte Vergleichswerte für ausgewählte konstruktive Bauteile auf Grundlage statistischer Kennwerte. Eine Konkretisierung der BKI-Ausgabe erfolgt in dieser Zusammenfassung nicht; maßgeblich ist die einheitliche, vergleichende Anwendung der Kennwerte über alle Varianten.



**Abbildung 2:** Übersicht der Module in der Ökobilanzierung

Quelle: [www.gebaeudeforum.de/wissen/nachhaltiges-bauen-und-sanieren/lebenszyklusbetrachtung/oekobilanzierung-lca/](http://www.gebaeudeforum.de/wissen/nachhaltiges-bauen-und-sanieren/lebenszyklusbetrachtung/oekobilanzierung-lca/) (Abruf 09.03.26)



## 4. Grundlagen der Berechnung

### 4.1 Beschreibung des Entwurfs (Mustergebäude)

Für die Vergleichsberechnung wurde ein Mustergebäude definiert, dessen Geometrie und Nutzungsstruktur für alle Varianten identisch bleibt. Das Gebäude ist als mehrgeschossiger Wohnungsbau der Gebäudeklasse 5 konzipiert und entspricht den städtebaulichen Vorgaben des Untersuchungsrahmens. Das Erdgeschoss ist für eine gewerbliche Nutzung vorgesehen; die darüberliegenden Geschosse dienen der Wohnnutzung. Durch die Blockrandstruktur ist das Gebäude zweiseitig an Nachbarbebauung angeschlossen; zwei Fassaden sind als Außenfassaden wirksam.



**Abbildung 3:** Grundrisse des Entwurfs in der Übersicht (eigene Darstellung)

## Kenndaten Mustergebäude (zusammenfassend):

| Parameter         | Ansatz                                           |
|-------------------|--------------------------------------------------|
| Gebäudetypologie  | Wohnungsbau, mehrgeschossig                      |
| Gebäudeklasse     | GK 5                                             |
| Grundabmessungen  | ca. 20,00 m × 13,00 m                            |
| Geschossigkeit    | 5 oberirdische Geschosse zzgl. Untergeschoss     |
| Höhe (OK Attika)  | ca. 17,36 m                                      |
| BGF               | ca. 1.560 m <sup>2</sup>                         |
| NRF               | variantenabhängig ca. 1.314–1.326 m <sup>2</sup> |
| Nutzung           | EG Gewerbe, 1. - 4. OG Wohnen                    |
| Energiestandard   | EH 40                                            |
| Wärmeversorgung   | gemäß Quartiersrandbedingung (klimaneutral)      |
| Bauweise/Tragwerk | Schottenbauweise mit tragenden Innenwänden       |

Zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit wurden Abweichungen in Bauteildicken und konstruktiven Aufbauten so organisiert, dass die äußere Gebäudegeometrie beibehalten wird. Geringfügige Unterschiede in der NRF sind variantenbedingt möglich und werden in der Ergebnisdarstellung über die Normierung auf m<sup>2</sup> NRF berücksichtigt.



**Abbildung 4:** Der Entwurf im Schnitt, differenziert nach Variante und damit Baukonstruktionen (eigene Darstellung)

#### 4.1.1 Modellierungsumfang und betrachtete Gebäudeteile

Das Gebäude wurde in einem bauteilorientierten Modellansatz beschrieben. Dabei werden Bauteile bzw. Bauteilgruppen mit Mengen (Fläche/Volumen) hinterlegt und über Datensätze der ÖKOBAUDAT bilanziert. Für die Kostenbetrachtung erfolgt eine Zuordnung zu bauteilbezogenen Kostenkennwerten.

Für die vergleichende Modellierung wurden Bauteile in einen konstanten Anteil („Hauptmodell“) und variantenabhängige Bauteile getrennt. Das Hauptmodell umfasst Bauteile, die in allen Varianten gleich angesetzt werden; variantenabhängige Bauteile bilden die konstruktiven Unterschiede zwischen v01–v04 ab.

| Bereich                          | Hauptmodell (konstant)                                                                                                                                                                                  | Variantenabhängig                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Untergeschoss (UG)               | Kellertrennwände; Keller-Türen (T30-RS); Kellerfenster (Kunststoff); Lichtschächte (Stb.-Fertigteile)                                                                                                   | Fundamente; Bodenplatte; tragende UG-Wände; Decke über UG (Standard vs. CO <sub>2</sub> -optimiert)                                                                                              |
| Treppenhaus / Erschließung (TRH) | Aufzug (6 Stationen); Handlauf; TRH-Fenster (Kunststoff, 3-fach); RWA; TRH-Türen UG (T30-RS); Hauseingang; Wohnungseingangstüren                                                                        | Treppenraumwände innen/außen; Schachtwände; TRH-Fassade; Treppenlauf/Podeste (insbes. Holzbauvariante)                                                                                           |
| Alle Geschosse / Gebäude         | Nichttragende Innenwände (Metallständer); Dachaufbau (Blaudach); Absturzsicherungen (Fenster/Balkone); Fenster (Kunststoff, 3-fach); Zimmertüren; Vorwandinstallationen (GIS); EG-Abhangdecke (Akustik) | Außenwände; tragende Innenwände; Wohnungstrennwände; Gebäudeabschlusswand zum Nachbargebäude; Stützen/Unterzüge (EG); Geschossdecken; Dachtragwerk; Balkone; Fußbodenaufbau (Holzbau abweichend) |

#### 4.2 Varianten

In dieser Zusammenfassung werden vier Hauptvarianten (v01–v04) dargestellt. In der zugrunde liegenden Studie wurden ergänzend vertiefende Varianten betrachtet (u. a. Untergeschoss in Standard- und CO<sub>2</sub>-optimierter Ausführung sowie Dämmstoffvarianten im Holzrahmenbau und ein optimierter Hybridansatz).

#### 4.2.1 v01 – Konventioneller Massivbau

| Bauteilbereich                              | Ausprägung (Prinzip)                              |
|---------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Außenwände                                  | mineralisch (z. B. gefüllter Ziegel), Putzfassade |
| Tragende Innenwände /<br>Wohnungstrennwände | Kalksandstein (Standard)                          |
| Treppenhauswände                            | Stahlbeton (Standard)                             |
| Decken / Dach                               | Stahlbeton (Standard)                             |
| Untergeschoss                               | Stahlbeton (Standard)                             |

#### 4.2.2 v02 – Konventioneller Hybridbau

| Bauteilbereich                              | Ausprägung (Prinzip)                     |
|---------------------------------------------|------------------------------------------|
| Außenwände                                  | Holzrahmenbau, Fassadenbekleidung (Holz) |
| Tragende Innenwände /<br>Wohnungstrennwände | Kalksandstein (Standard)                 |
| Treppenhauswände                            | Stahlbeton (Standard)                    |
| Decken / Dach                               | Holz-Beton-Verbund (HBV)                 |
| Untergeschoss                               | Stahlbeton (Standard)                    |

#### 4.2.3 v03 – Holzbau

| Bauteilbereich                              | Ausprägung (Prinzip)                                                              |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Außenwände                                  | Holzrahmenbau, Fassadenbekleidung (Holz)                                          |
| Tragende Innenwände /<br>Wohnungstrennwände | Holzständer-/Holzrahmenkonstruktionen (inkl. Vorsatzschalen, soweit erforderlich) |
| Treppenhauswände                            | Holzbauweise (mit brandschutzbezogenen Sonderlösungen gemäß Studienannahmen)      |
| Decken / Dach                               | Brettspertholz (CLT)                                                              |
| Untergeschoss                               | Stahlbeton (Standard)                                                             |

#### 4.2.4 v04 – Optimierter Massivbau

| Bauteilbereich                              | Ausprägung (Prinzip)                      |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Außenwände                                  | Ziegel, gefüllt, Putzfassade              |
| Tragende Innenwände /<br>Wohnungstrennwände | Kalksandstein, CO <sub>2</sub> -optimiert |
| Treppenhauswände                            | Stahlbeton, CO <sub>2</sub> -optimiert    |
| Decken / Dach                               | Holz-Beton-Verbund (HBV)                  |
| Untergeschoss                               | Stahlbeton, CO <sub>2</sub> -optimiert    |

## 5. Datengrundlage und Untersuchungsmethode

Die Ökobilanzierung wurde mit dem eLCA-Tool durchgeführt. Als Datengrundlage wurden Datensätze der ÖKOBAUDAT 2024\_I (A2) verwendet. Für Standardbauweisen wurden branchendurchschnittliche Datensätze angesetzt. Optimierungsmaßnahmen bei mineralischen Bauteilen basieren auf in der ÖKOBAUDAT verfügbaren Datensätzen für CO<sub>2</sub>-reduzierte Produkte. Ausbau- und Ausstattungsanteile (z. B. Abdichtung, Estrich, Türen, Geländer) wurden berücksichtigt und in allen Varianten als identisch angenommen.

Die Ergebnisdarstellung erfolgt als Gesamtbilanz bezogen auf die NRF. Als separate Anteile werden Bauwerk (KG 300), Anteile der KG 400 (Großgeräte, Sockel) sowie nutzerbezogene Energie (B6.3) ausgewiesen. Die Kostenkennwerte wurden bauteilbezogen über statistische Kennwerte abgebildet und dienen ausschließlich der vergleichenden Gegenüberstellung ausgewählter Bauteile; eine Vollkostenermittlung des Gesamtgebäudes ist nicht Bestandteil der Datengrundlage.

| v01                                         | v02                                           | v03                                           | v04                                                                     |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| konventioneller Massivbau                   | Hybridbau                                     | Holzbau                                       | optimierter Massivbau                                                   |
| <b>Fundamente/BoPla/UG:</b><br>Stahlbeton   | <b>Fundamente/BoPla/UG:</b><br>Stahlbeton     | <b>Fundamente/BoPla/UG:</b><br>Stahlbeton     | <b>Fundamente/BoPla/UG:</b><br>Stahlbeton (CO <sub>2</sub> optimiert)   |
| <b>TRH + Schacht:</b><br>Stahlbeton         | <b>TRH + Schacht:</b><br>Stahlbeton           | <b>TRH + Schacht:</b><br>Holzrahmenbau        | <b>TRH + Schacht:</b><br>Stahlbeton (CO <sub>2</sub> optimiert)         |
| <b>Außenwände:</b><br>Ziegel, gefüllt       | <b>Außenwände:</b><br>Holzrahmenbau (MiWo)    | <b>Außenwände:</b><br>Holzrahmenbau (MiWo)    | <b>Außenwände:</b><br>Ziegel, gefüllt                                   |
| <b>Fassade:</b><br>verputzt                 | <b>Fassade:</b><br>VHF, Holzverkleidung       | <b>Fassade:</b><br>VHF, Holzverkleidung       | <b>Fassade:</b><br>verputzt                                             |
| <b>Innenwände tragend:</b><br>Kalksandstein | <b>Innenwände tragend:</b><br>Kalksandstein   | <b>Innenwände tragend:</b><br>Holzrahmenbau   | <b>Innenwände tragend:</b><br>Kalksandstein (CO <sub>2</sub> optimiert) |
| <b>Geschossdecken:</b><br>Stahlbeton        | <b>Geschossdecken:</b><br>Brettsperrholz (Si) | <b>Geschossdecken:</b><br>Brettsperrholz (Si) | <b>Geschossdecken:</b><br>Holz-Beton-Verbunddecke (Si)                  |

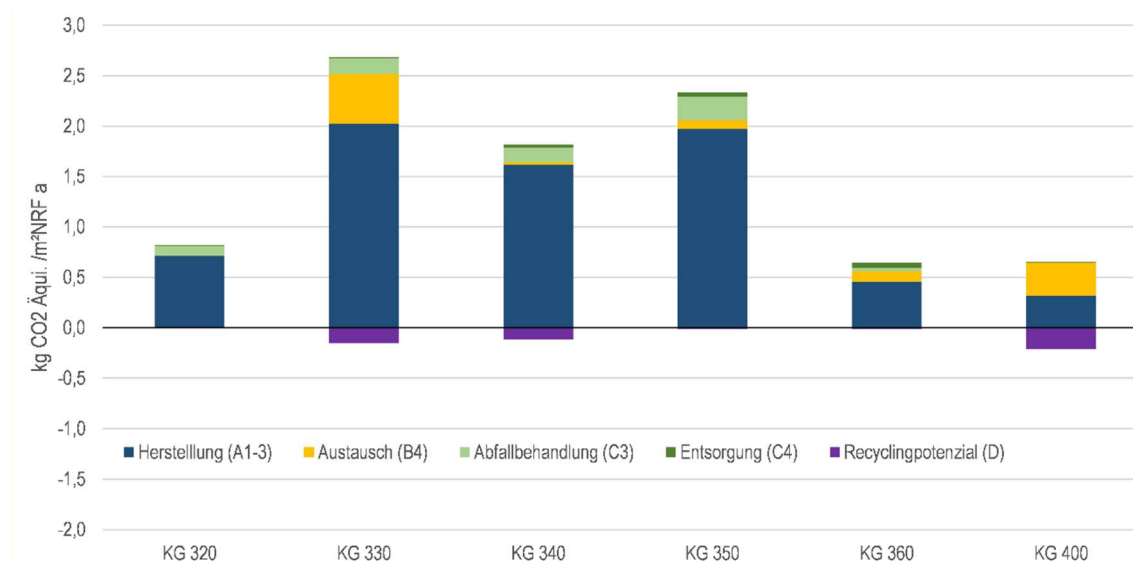
**Abbildung 5:** Reduzierte Übersicht der wesentlichen Konstruktionen der einzelnen Varianten (eigene Darstellung)

## 6. Ergebnisse

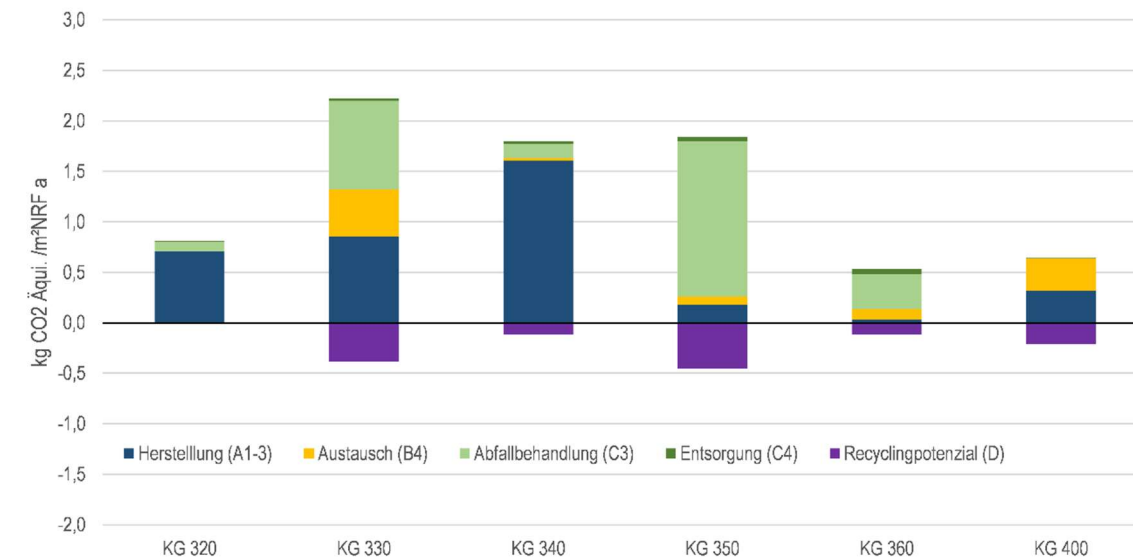
Dieses Kapitel stellt die Ergebnisse der vergleichenden Untersuchung dar. Die Darstellung erfolgt getrennt nach Bauteilebene und Gebäudeebene.

## 6.1 Vergleich auf Bauteilebene

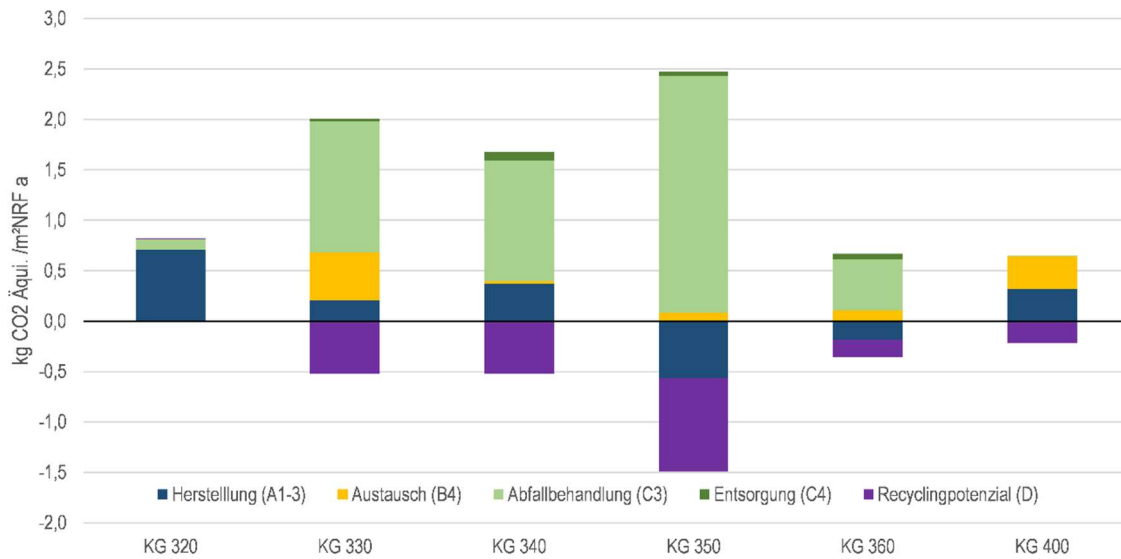
Auf Bauteilebene werden Kennwerte für Treibhausgasemissionen (GWP), nicht erneuerbare Primärenergie (PEne) sowie bauteilbezogene Kostenkennwerte ausgewiesen. Die Kennwerte beziehen sich auf die jeweils angesetzten Bauteilflächen (Anteil m<sup>2</sup>) im Mustergebäude.



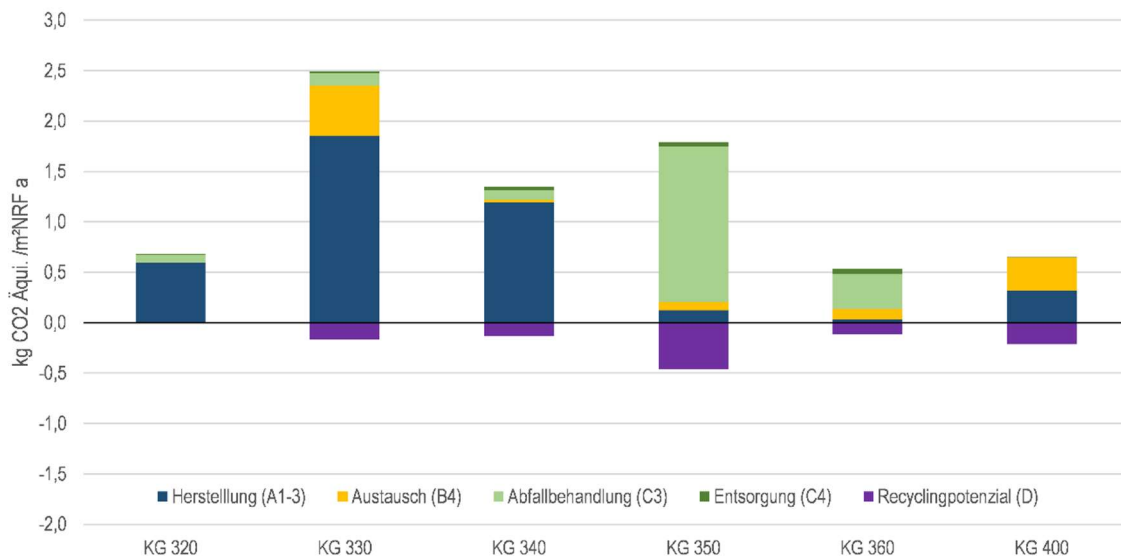
**Abb. 6.1:** Bilanz nach Bauteilgruppen: Treibhausgasemissionen GWP, v01\_konventioneller Massivbau (eigene Darstellung)



**Abb. 6.2:** Bilanz nach Bauteilgruppen: Treibhausgasemissionen GWP, v02\_Hybridbau (eigene Darstellung)



**Abb. 6.3:** Bilanz nach Bauteilgruppen: Treibhausgasemissionen GWP, v03\_Holzbau (eigene Darstellung)



**Abb. 6.4:** Bilanz nach Bauteilgruppen: Treibhausgasemissionen GWP, v04\_optimierter Massivbau (eigene Darstellung)

### 6.1.1 Vergleich der Treibhausgasemissionen (THG/GWP)

Die nachfolgende Tabelle fasst die in der Studie angesetzten Kennwerte der maßgeblichen Bauteile zusammen. Angaben: GWP (kg CO<sub>2</sub>-Äq. je m<sup>2</sup> Bauteilfläche), PEne (kWh je m<sup>2</sup> Bauteilfläche), Kostenkennwert (€/m<sup>2</sup>) sowie zugehörige im Modell angesetzte Bauteilfläche (Anteil m<sup>2</sup>).

| Bauteil (Ausprägung)                                              | GWP [kg CO <sub>2</sub> -Äq./m <sup>2</sup> ] | PEne [kWh/m <sup>2</sup> ] | Kosten [€/m <sup>2</sup> ] | Anteil [m <sup>2</sup> ] |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| Außenwand<br>Hochlochziegel,<br>verputzt                          | 69                                            | 215                        | 403                        | 355                      |
| Außenwand<br>Holzrahmenbau,<br>Holzfassade,<br>Mineralwolle       | 31                                            | 118                        | 610                        | 355                      |
| Außenwand<br>Holzrahmenbau,<br>Holzfassade, Zellulose             | 22                                            | 84                         | 610                        | 355                      |
| Gebäudeabschlusswand<br>Stahlbeton, gedämmt,<br>verputzt          | 90                                            | 174                        | 361                        | 400                      |
| Gebäudeabschlusswand<br>Holzrahmenbau, ohne<br>Installationsebene | 53                                            | 245                        | 302                        | 400                      |
| Gebäudeabschlusswand<br>Stahlbeton, gedämmt,<br>optimiert         | 71                                            | 180                        | 416                        | 400                      |
| Treppenhauswand<br>innen Stahlbeton,<br>verputzt                  | 92                                            | 173                        | 417                        | 91                       |
| Treppenhauswand<br>Holzrahmenbau,<br>Vorsatzschale                | 87                                            | 331                        | 449                        | 91                       |
| Treppenhauswand<br>Stahlbeton, optimiert                          | 73                                            | 179                        | 441                        | 91                       |
| Innenwand<br>Kalksandstein, verputzt                              | 85                                            | 178                        | 246                        | 647                      |
| Innenwand<br>Holzrahmenbau, ohne<br>Installationsebene            | 40                                            | 191                        | 281                        | 647                      |
| Innenwand<br>Kalksandstein, verputzt,<br>optimiert                | 44                                            | 112                        | 257                        | 647                      |
| Wohnungstrennwand<br>Kalksandstein, verputzt                      | 85                                            | 178                        | 246                        | 232                      |



|                                                            |     |     |     |      |
|------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|------|
| Wohnungstrennwand<br>Holzrahmenbau,<br>Vorsatzschale       | 74  | 283 | 434 | 232  |
| Wohnungstrennwand<br>Kalksandstein, verputzt,<br>optimiert | 44  | 112 | 257 | 232  |
| Decke über UG                                              | 75  | 141 | 269 | 240  |
| Geschossdecke<br>Stahlbeton, verputzt                      | 75  | 141 | 269 | 1145 |
| Geschossdecke<br>Brettsperrholz                            | 23  | 94  | 249 | 1145 |
| Geschossdecke Holz-<br>Beton-Verbund,<br>optimiert         | 41  | 126 | 285 | 1145 |
| Dach Stahlbeton,<br>verputzt                               | 75  | 141 | 269 | 220  |
| Dach Brettsperrholz                                        | 23  | 94  | 249 | 220  |
| Dach Holz-Beton-<br>Verbund, optimiert                     | 41  | 126 | 285 | 220  |
| Dachaufbau (Gründach)                                      | 127 | 405 | 225 | 220  |

### 6.1.2 Vergleich der nicht erneuerbaren Primärenergie (PEne)

Die PEne-Kennwerte der betrachteten Bauteile sind in der Tabelle in Abschnitt 6.1.1 zusammen mit den zugehörigen GWP- und Kostenkennwerten dargestellt.

### 6.1.3 Vergleich der Kosten

Die bauteilbezogenen Kostenkennwerte (€/m<sup>2</sup>) sind in der Tabelle in Abschnitt 6.1.1 enthalten.

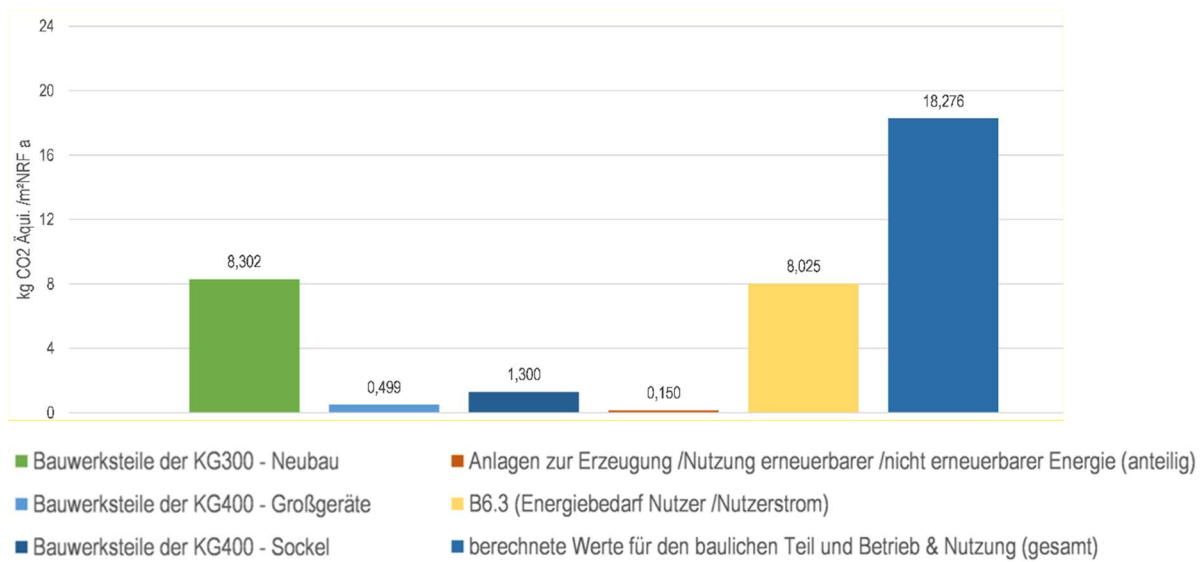
## 6.2 Vergleich auf Gebäudeebene

Auf Gebäudeebene werden die Ergebnisse als normierte Kennwerte bezogen auf die Nettoraumfläche (NRF) ausgewiesen. Die Ergebnisdarstellung folgt der in den grafischen Auswertungen verwendeten Aggregation in Bauwerk (KG 300), Anteile der technischen Anlagen (KG 400) sowie nutzerbezogene Energieanteile (B6.3).

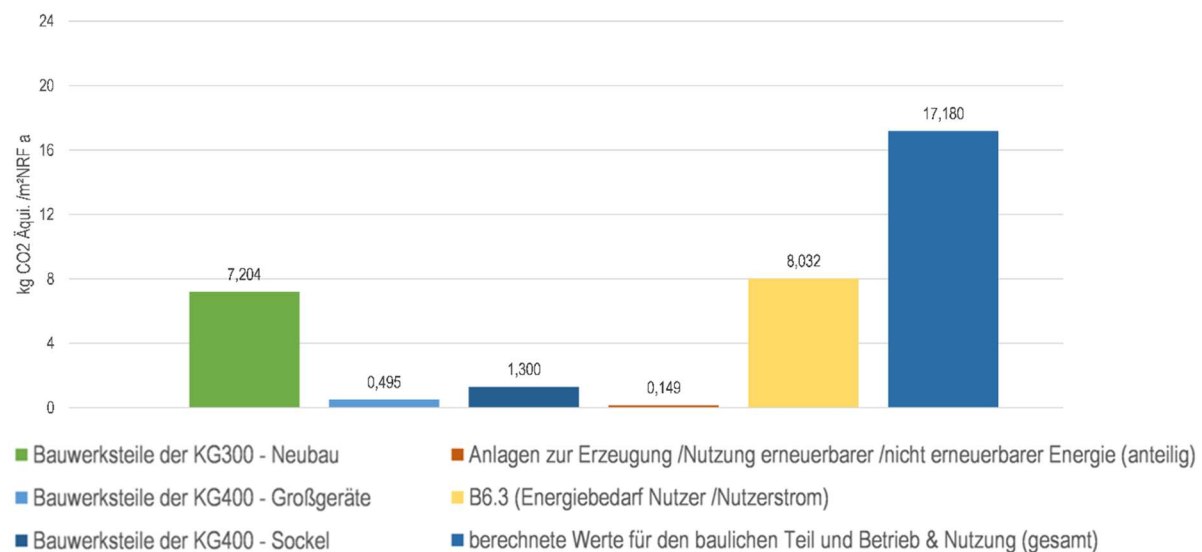
### 6.2.1 Vergleich der Treibhausgasemissionen (THG/GWP)

Angaben: kg CO<sub>2</sub>-Äq./m<sup>2</sup> NRF-a.

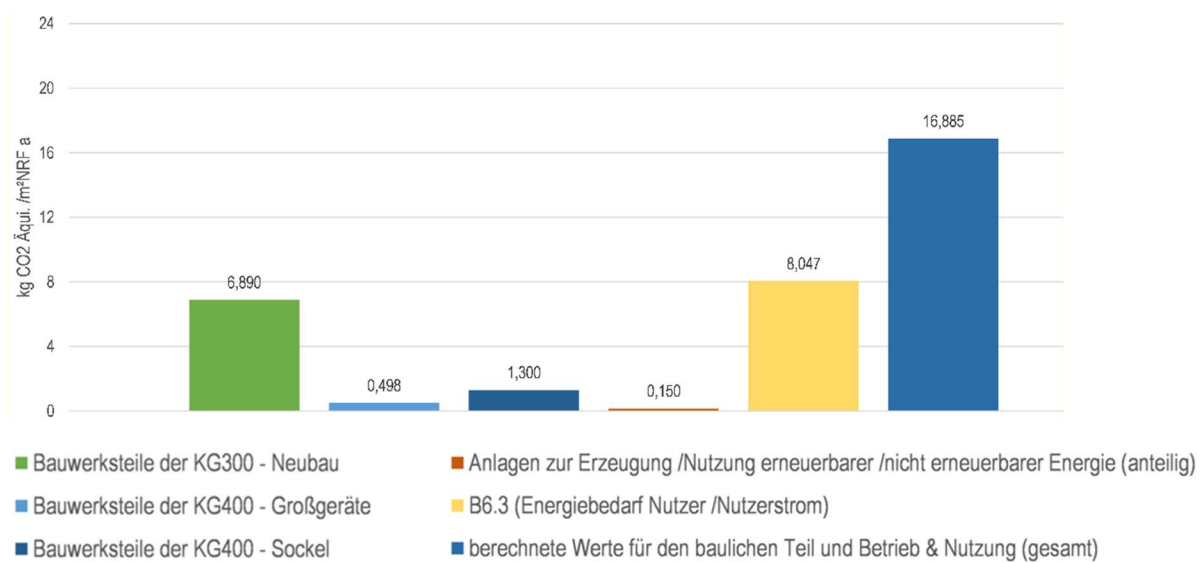
| Variante                            | KG 300<br>(Bauwerk) | KG 400<br>Großgeräte | KG 400<br>Sockel | Anlagen<br>EE/NE<br>(anteilig) | B6.3<br>Nutzerstrom | Gesamt |
|-------------------------------------|---------------------|----------------------|------------------|--------------------------------|---------------------|--------|
| v01<br>Konventioneller<br>Massivbau | 8,302               | 0,499                | 1,300            | 0,150                          | 8,025               | 18,276 |
| v02 Hybridbau                       | 7,204               | 0,495                | 1,300            | 0,149                          | 8,032               | 17,180 |
| v03 Holzbau                         | 6,890               | 0,498                | 1,300            | 0,150                          | 8,047               | 16,885 |
| v04<br>Optimierter<br>Massivbau     | 6,850               | 0,499                | 1,300            | 0,150                          | 8,025               | 16,824 |



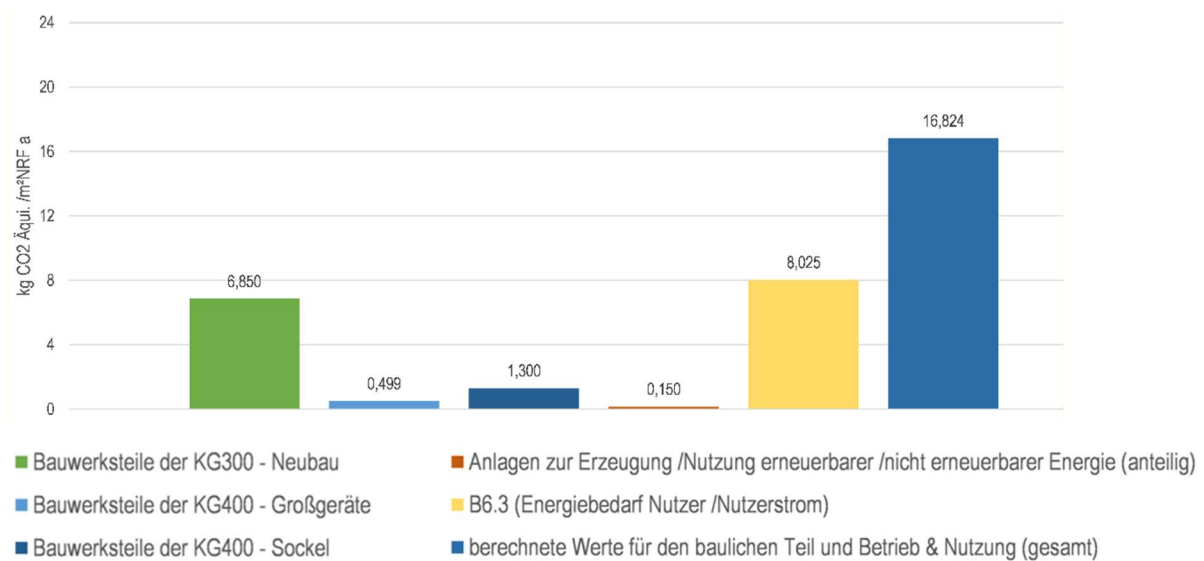
**Abb. 7.1:** Gesamtbilanz – Treibhausgasemissionen GWP, v01\_konventioneller Massivbau (eigene Darstellung)



**Abb. 7.2:** Gesamtbilanz – Treibhausgasemissionen GWP, v02\_Hybridbau (eigene Darstellung)



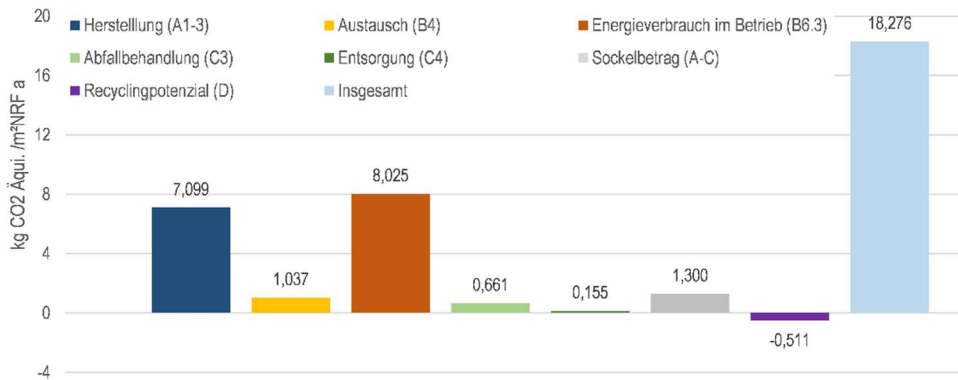
**Abb. 7.3:** Gesamtbilanz – Treibhausgasemissionen GWP, v03\_Holzbau (eigene Darstellung)



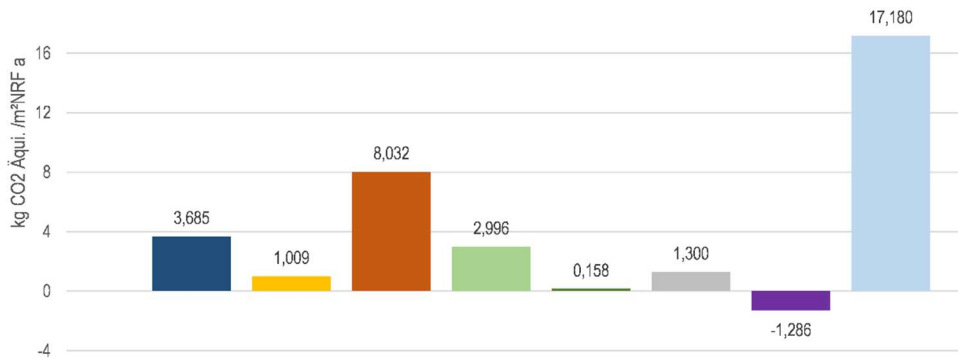
**Abb. 7.4:** Gesamtbilanz – Treibhausgasemissionen GWP, v04\_optimierter Massivbau (eigene Darstellung)

## 6.2.2 Vergleich der Treibhausgasemissionen (THG/GWP), nach Modulen

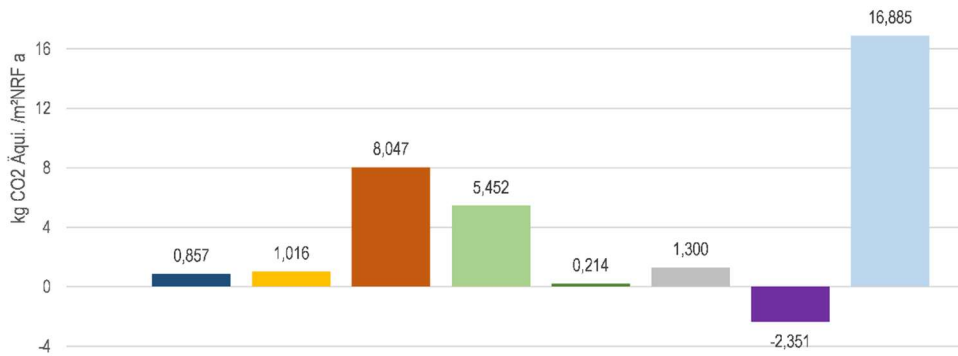
Angaben: kg CO<sub>2</sub>-Äq./m<sup>2</sup> NRF-a.



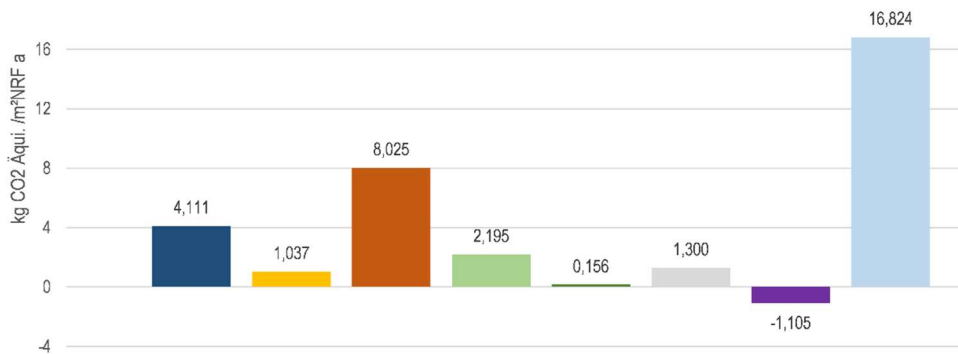
**Abb. 8.1:** Bilanz nach Modulen – Treibhausgasemissionen GWP, v01\_konventioneller Massivbau (eigene Darstellung)



**Abb. 8.2:** Bilanz nach Modulen – Treibhausgasemissionen GWP, v02\_Hybridbau (eigene Darstellung)



**Abb. 8.3:** Bilanz nach Modulen – Treibhausgasemissionen GWP, v03\_Holzbau (eigene Darstellung)

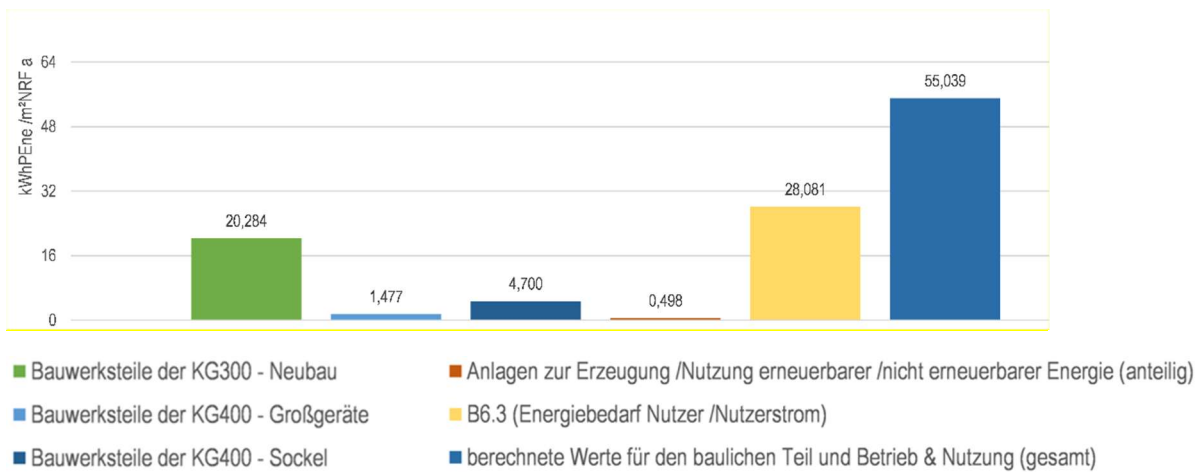


**Abb. 8.4:** Bilanz nach Modulen – Treibhausgasemissionen GWP, v04\_optimierter Massivbau (eigene Darstellung)

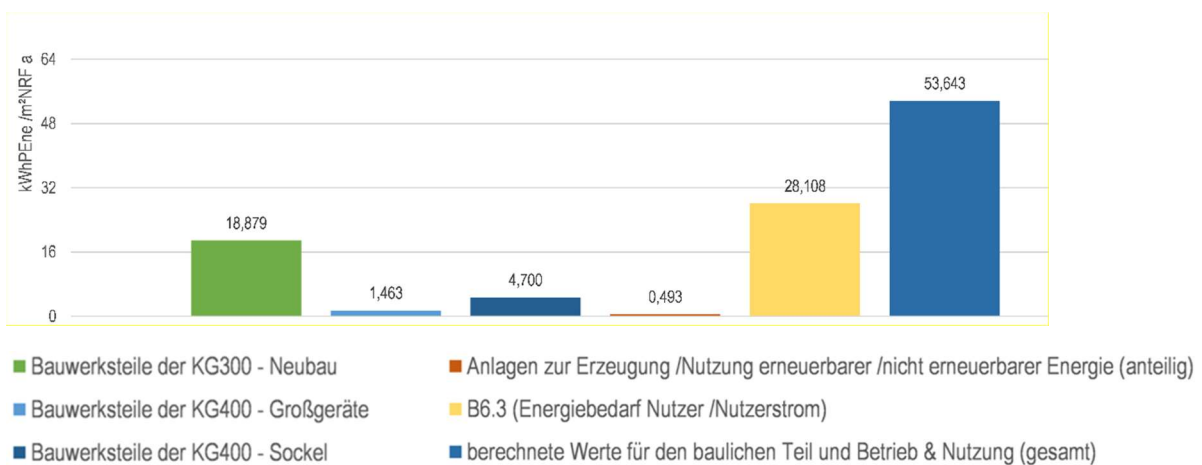
### 6.2.3 Vergleich der nicht erneuerbaren Primärenergie (PEne)

Angaben: kWhPEne/m<sup>2</sup> NRF·a.

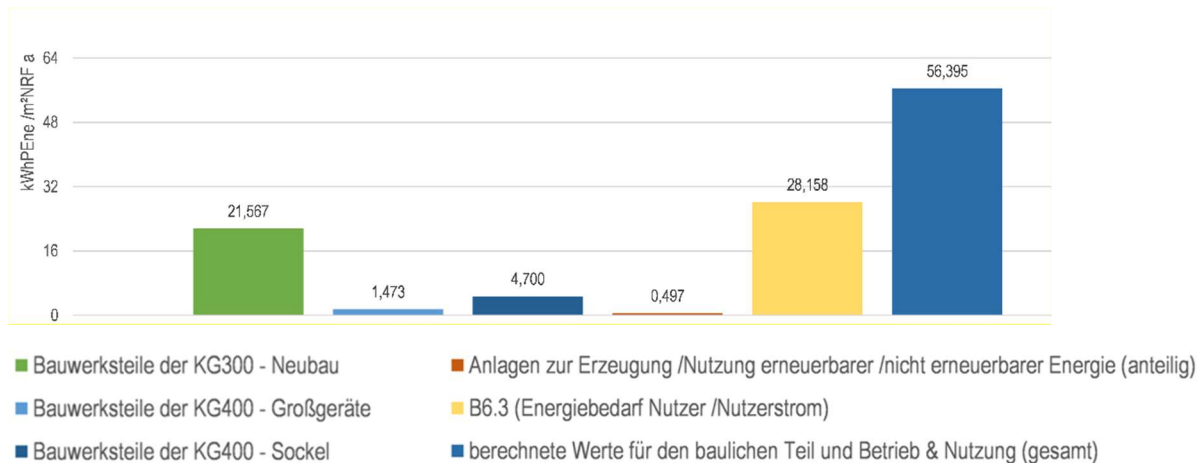
| Variante                            | KG 300<br>(Bauwerk) | KG 400<br>Großgeräte | KG 400<br>Sockel | Anlagen<br>EE/NE<br>(anteilig) | B6.3<br>Nutzerstrom | Gesamt |
|-------------------------------------|---------------------|----------------------|------------------|--------------------------------|---------------------|--------|
| v01<br>Konventioneller<br>Massivbau | 20,284              | 1,477                | 4,700            | 0,498                          | 28,081              | 55,039 |
| v02 Hybridbau                       | 18,879              | 1,463                | 4,700            | 0,493                          | 28,108              | 53,643 |
| v03 Holzbau                         | 21,567              | 1,473                | 4,700            | 0,497                          | 28,158              | 56,395 |
| v04<br>Optimierter<br>Massivbau     | 19,777              | 1,477                | 4,700            | 0,498                          | 28,081              | 54,532 |



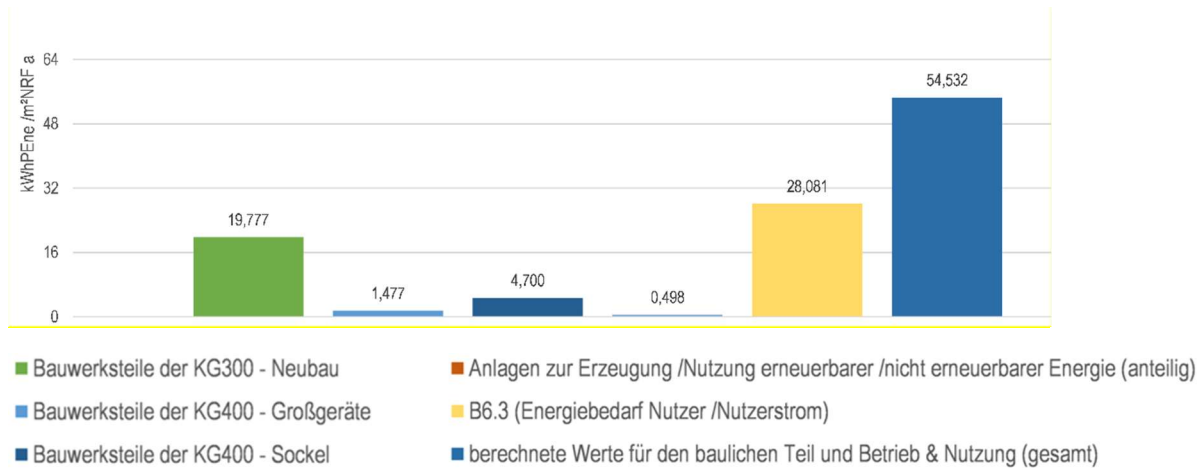
**Abb. 9.1:** Gesamtbilanz – Anteil an Primärenergie PEne, v01\_konventioneller Massivbau (eigene Darstellung)



**Abb. 9.2:** Gesamtbilanz – Anteil an Primärenergie PEne, v02\_Hybridbau (eigene Darstellung)



**Abb. 9.3:** Gesamtbilanz – Anteil an Primärenergie PEn, v03\_Holzbau (eigene Darstellung)



**Abb. 9.4:** Gesamtbilanz – Anteil an Primärenergie PEn, v04\_optimierter Massivbau

## 7. Ergebniszusammenfassung (deskriptiv)

Auf Gebäudeebene liegen die bilanzierten Gesamtwerte der Treibhausgasemissionen (GWP) der Hauptvarianten v01–v04 zwischen 16,824 und 18,276 kg CO<sub>2</sub>-Äq./m<sup>2</sup> NRF·a. Der nicht erneuerbare Primärenergieaufwand (PEn) liegt zwischen 53,643 und 56,395 kWhPEn/m<sup>2</sup> NRF·a. Die Tabellen in Kapitel 6 weisen die Beiträge aus Bauwerk (KG 300), technischen Anlagenanteilen (KG 400) sowie nutzerbezogenen Energieanteilen (B6.3) aus.

Auf Bauteilebene werden Kennwerte für wesentliche Bauteile und Bauteilvarianten (u. a. Außenwände, tragende Innenwände, Wohnungstrennwände, Decken und Dach) ausgewiesen. Ergänzend werden bauteilbezogene Kostenkennwerte (€/m<sup>2</sup>) sowie aggregierte Kostensummen für ausgewählte Bauteile als Vergleichsgröße dargestellt.

## **8. Diskussion und Aussagegrenzen**

Die Ergebnisse sind im Kontext der festgelegten Systemgrenzen, der Datenbasis (eLCA/ÖKOBAUDAT) und der gewählten Variantenbildung (v01–v04) zu interpretieren. Der Vergleich ist als kontrollierte Gegenüberstellung konstruktiver Alternativen innerhalb eines identischen Modellgebäudes angelegt; nichtvariantenbezogene Bauteile und Ausstattungsanteile werden im Hauptmodell konstant geführt.

### **8.1 Module und Systemgrenze**

Die Ergebnisse werden modular nach Lebenszyklusphasen ausgewiesen. In den meisten Bauweisen liegen wesentliche Emissionsanteile in der Herstellungsphase (A1–A3). Für Holzbauteile können in A sehr niedrige GWP-Beiträge auftreten, sofern biogener Kohlenstoff in der Datensatzlogik als temporäre Speicherung bilanziert wird. In der End-of-Life-Phase (C1–C4) können diese Effekte durch Rückbau- und Entsorgungsannahmen teilweise wieder kompensiert werden, da gespeicherter Kohlenstoff bilanziell als Freisetzung abgebildet werden kann. Modul D wird – sofern ausgewiesen – getrennt betrachtet, da die dort enthaltenen Potenziale (z. B. Substitution/Recycling) außerhalb der Systemgrenze A–C liegen und datensatzabhängig sind.

### **8.2 Übertragbarkeit und Randbedingungen des Modellgebäudes**

Die Übertragbarkeit der Ergebnisse ist an die Randbedingungen des Modellgebäudes gebunden. Das Gebäude ist zweiseitig an Nachbarbebauung angebaut. In der Modellierung sind diese Seiten nicht als reguläre Außenwände ausgebildet, sondern als Gebäudeabschlusswände zum Nachbargebäude. Diese Bauteile können gegenüber Außenwänden erhöhte konstruktive Anforderungen (z. B. brandschutztechnisch) aufweisen, werden jedoch energetisch adiabatisch angesetzt und benötigen im Regelfall keine Fassadenausbildung und keine wärmeschutzbezogene Dämmung wie eine außenklimatische Gebäudehülle. Dadurch verschiebt sich der relative Beitrag der „Hülle“ von außenklimatisch wirksamen Außenwänden hin zu Gebäudeabschlusswänden; entsprechend sind Variantenunterschiede bei Außenwänden im Gebäudeergebnis in ihrer Wirkung an dieses Flächen- und Bauteilgefüge gebunden. Zudem ist die Gebäudeklasse 5 insbesondere für Holzbauweisen mit erhöhten regulatorischen Anforderungen verbunden, die sich in zusätzlichen Schichten und Materialmengen niederschlagen können; in niedrigeren Gebäudeklassen sind abweichende Bauteilaufbauten und damit andere Ergebnisse möglich.

### **8.3 Abgrenzung der Varianten und Datengrundlage**

Die Variantenbildung v01–v04 bildet den Kernvergleich ab. In der zugrunde liegenden Studie wurden ergänzend Vertiefungen (z. B. Untergeschoss- und Dämmstoffvarianten sowie weitere Hybridkonfigurationen) untersucht, die weitere Fragestellungen eröffnen, jedoch nicht Bestandteil der hier dargestellten Ergebnisreihe sind. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass durch die Bindung an eLCA und die ÖKOBAUDAT die Materialauswahl auf dort verfügbare Datensätze beschränkt ist und damit nicht sämtliche marktverfügbaren Produkte abgebildet werden. Die Betriebsenergie für Heizung und Warmwasser (B6.1) ist im gewählten Bilanzrahmen nicht enthalten; die Ergebnisse sind daher als auf die Baukonstruktion und die definierten nutzerbezogenen Energieanteile fokussierte Vergleichsauswertung zu lesen, nicht als vollständige Gesamtbilanz des Gebäudebetriebs.

## Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] Umweltbundesamt (UBA): Klimaschutz im Gebäudesektor.  
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen/klimaschutz-im-gebaeudesektor>
- [2] Umweltbundesamt (UBA): Industrieemissionen – Zementherstellung.  
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/industrie/industrieemissionen/zementherstellung>
- [3] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR): Graue Energie im Gebäudebereich.  
<https://www.bbsr.bund.de>
- [4] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Musterbauordnung (MBO), Fassung 2023.  
<https://www.dibt.de>
- [5] Informationsdienst Holz: Mehrgeschossiger Holzbau. <https://informationsdienst-holz.de>
- [6] Institut Bauen und Umwelt e. V. (IBU): Umwelt-Produktdeklarationen im Bauwesen. <https://ibu-epd.com>
- [7] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB): ÖKOBAUDAT.  
<https://www.oekobaudat.de>
- [8] Stadt Freiburg im Breisgau: Neuer Stadtteil Dietenbach – Nachhaltigkeit und Energie.  
<https://www.freiburg.de/dietenbach>