

BENCHMARKS FÜR DIE TREIBHAUSGASEMISSIONEN DER GEBÄUDEKONSTRUKTION

Ergebnisse einer Studie mit 50 Gebäuden

Zusammenfassung	1
Abstract	1
1. Einführung	2
HINTERGRUND	2
ZIELSETZUNG	2
2. Vorgehensweise und Methodik	3
VORGEHEN	3
DARSTELLUNG DER STICHPROBE	3
BESTIMMUNG DER DIFFERENZIERUNGSMERKMALE	4
RAHMENBEDINGUNGEN DER ERHEBUNG	5
3. Ergebnisse der Auswertung	5
NORMIERUNG	5
TREIBHAUSGASEMISSIONEN BAUWERK (GWP _k)	5
AUSWERTUNG NACH WEITEREN EINFLUSSFAKTOREN	7
4. Ergebnisse der Auswertung	11
DARSTELLUNG UND EINORDNUNG DER ERGEBNISSE	11
KRITISCHE BEURTEILUNG DER ERGEBNISSE	13
AUSBlick UND FAZIT	13
Glossar	15
Abkürzungsverzeichnis	16
Tabellen- und Abbildungsverzeichnis	16
Anhang	17

Zusammenfassung

Die Reduzierung der Kohlendioxidemissionen (CO₂) ist eines der vorrangigen aktuellen umweltpolitischen Ziele. Vorgaben dazu wurden im Rahmen des Pariser Klimaabkommens von 2015 weltweit vereinbart. In Deutschland hat der Gebäudesektor einen maßgeblichen Anteil am CO₂-Ausstoß. Stand in den letzten Jahren besonders die Bewertung des Gebäudebetriebs und der damit verbundenen Emissionen im Vordergrund des politischen und wissenschaftlichen Interesses, wird nun vermehrt die Frage nach der Bewertung der Gebäude selbst gestellt. Um das Bauwerk selbst zu einordnen und bewerten zu können, fehlen aktuell noch ausreichend Daten. Hier setzt die vorgelegte Studie an.

Im Rahmen der statistischen Auswertung von 50 ökobilanzierten Gebäuden aus dem Pool der DGNB werden Benchmarks für Treibhausgasemissionen [kg CO₂e/m²*a] abgeleitet. Der Mittelwert aller Gebäude liegt bei 8,7 kg CO₂e/m²a und damit ca. 8% unter dem aktuellen Referenzwert der DGNB (9,4 kg CO₂e/m²a). Die Gruppe der am besten abschneidenden Gebäude weist einen Wert von 6,5 kg CO₂e/m²a auf. Insgesamt ist eine große Spreizung der Ergebnisse zu beobachten. Diese lässt sich auch nur teilweise durch den Einfluss von verschiedenen Differenzierungsmerkmalen erklären. Hier ergeben sich Ansatzpunkte für weitere Forschungen.

Die erarbeiteten Benchmarks unterstützen konkret die Bewertung von Gebäuden hinsichtlich der Reduktion ihrer Treibhausgasemissionen. Damit ermöglichen Sie ein Reagieren und Eröffnen, zum Beispiel bei Durchführung eines Bauprojektes, die Möglichkeit verschiedene Planungsvarianten einzuordnen und eine treibhausgasarme Variante auszuwählen.

Abstract

Reducing carbon dioxide (CO₂) emissions is one of the top environmental policy goals. Targets for this were agreed worldwide within the framework of the Paris Climate Agreement of 2015. In Germany, the building sector accounts for a significant share of CO₂ emissions. While in recent years the evaluation of the operation of buildings and the associated emissions were at the forefront of scientific interest, the question of the evaluation of the buildings themselves is now increasingly being raised. In order to be able to evaluate the building itself, there is currently still a lack of sufficient data. This is where the presented study comes in.

Within the framework of the statistical evaluation of 50 buildings from the DGNB pool, for which Life Cycle Assessment results were available, benchmarks for greenhouse gas emissions [kg CO₂e/m²*a] were derived. The mean value of all buildings is 8.7 kg CO₂e/m²a, which is approx. 8% below the current reference value of the DGNB (9.4 kg CO₂e/m²a). The group of the best performing buildings has a value of 6.5 kg CO₂e/m²a. Overall, a wide spread of results can be observed. This can only be partially explained by the influence of various differentiating characteristics. This is a starting point for further research.

The developed benchmarks concretely support the evaluation of buildings with regard to reducing their greenhouse gas emissions. In this way, they make it possible to react and, for example, open up the possibility of comparing different planning variants with each other when carrying out a building project and selecting a low greenhouse gas variant.

1. Einführung

HINTERGRUND

Mit der Unterzeichnung des Pariser Klimaabkommens hat sich die Bundesregierung verpflichtet bis spätestens 2050 treibhausgasneutral zu sein. Im Mai 2021 wurde von der Bundesregierung eine Verschärfung der Klimaschutzvorgaben mit dem Ziel die Treibhausgasneutralität bereits bis 2045 zu erreichen beschlossen. Auch die Zwischenziele wurden angepasst und verschärft: Bis 2030 sollen nun 65% (bisher 55%) und bis 2040 88% weniger CO₂ Treibhausgase gegenüber dem Wert von 1990 emittiert werden. Damit einher geht eine Absenkung der jährlichen zulässigen CO₂-Emissionsmengen für die einzelnen Sektoren (Energiewirtschaft, Industrie, Verkehr und Gebäudebereich)¹. Das Klimaziel für 2020 sah eine Reduktion der THG-Emissionen von 40% gegenüber 1990 vor und wurde knapp – auch durch den Einfluss der Coronapandemie – erreicht. Bei genauerer Betrachtung der Analyse der Bundesregierung, fällt auf, dass der Gebäudesektor der einzige Bereich ist, der seine Vorgabe verfehlte. Anstelle der angestrebten 118 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente wurden 120 Millionen ausgestoßen.²

Die im Auftrag vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) beauftragte Studie „Umweltfußabdruck von Gebäuden in Deutschland“ Situation zeigt auf, dass 2014 40% der deutschen THG-Emissionen durch die Herstellung, Errichtung, Modernisierung und durch den Betrieb von Wohn- und Nichtwohngebäuden verursacht wurden.³

Für den Gebäudesektor bedeutet dies, dass große Anstrengungen unternommen werden müssen, um die politisch vorgegebenen Reduktionsziele zu erreichen. Hierzu werden aktuell sowohl von der Politik als auch von Vertretern verschiedener Akteure im Baubereich, Maßnahmen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen vorgeschlagen.

Damit Maßnahmen überhaupt bewertet werden können, werden Instrumente benötigt, die helfen, diese Maßnahmen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die CO₂ Bilanz abzuschätzen. An diesem Punkt setzt die vorliegende Studie der DGNB an.

ZIELSETZUNG

Eines der wichtigsten inhaltlichen Ziele im Rahmen der aktuellen Debatte ist die Reduktion der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus von Gebäuden. Die Herstellung, die Instandhaltung und der spätere Rückbau sind für einen immer größer werdenden Anteil an den Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus eines Gebäudes verantwortlich. Ein wichtiger Faktor ist dabei, wieviel Treibhausgasemissionen dem Bauwerk⁴ (GWP_K)⁵ zugerechnet werden können. In Deutschland existieren dazu bislang kaum statistisch abgesicherte Werte.

Ziel dieser Studie ist es, Benchmarks für die Treibhausgasemissionen des Bauwerks von Gebäuden zu ermitteln. Um einen möglichen Vergleichswert zu ermitteln, werden Treibhausgasemissionen realisierter Gebäude aus einem großen Pool von ökobilanzierten Gebäuden genutzt. Dabei werden Differenzierungsmerkmale (=mögliche Faktoren, die Einfluss auf die Treibhausgasemissionen haben) mit in die Auswertung einbezogen.

¹Vgl. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz-2021-1913672> am 17.06.2021

² Vgl. <https://www.bmu.de/pressemitteilung/treibhausgasemissionen-sinken-2020-um-87-prozent/> am 17.06.2021

³ Vgl. BBSR: BBSR Online-Publikation Nr. 17/2020, Umweltfußabdruck von Gebäuden in Deutschland, Kurzstudie zu sektorübergreifenden Wirkungen des Handlungsfelds „Errichtung und Nutzung von Hochbauten“ auf Klima und Umwelt; Bonn, 2020.

⁴ Bauwerk = Baukonstruktion und Technische Anlagen

⁵ GWP GlobalWarmingPotential =Treibhausgaspotential

2. Vorgehensweise und Methodik

VORGEHEN

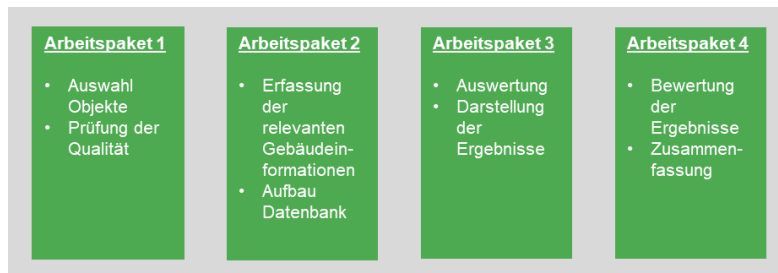


Abbildung 1: Übersicht der Arbeitspakete

Das Vorgehen gliedert sich in vier Arbeitspakete:

Arbeitspaket 1: In einem ersten Schritt erfolgt die Identifizierung der geeigneten Objekte. Dazu erfolgt eine Prüfung der Qualität der vorliegenden Daten. Das Ergebnis dieses Arbeitspakets ist eine Liste der ermittelten Objekte, für die der DGNB adäquate Daten vorliegen.

Arbeitspaket 2: Im anschließenden Arbeitsschritt werden weitere relevante Gebäudeinformationen/-kennzeichen zusammengetragen und systematisch erfasst. Als Basis für die Auswertung liegt nun eine Datenbank mit CO₂-Informationen und Gebäudeangaben vor.

Arbeitspaket 3: Die Auswertung der berechneten CO₂-Emissionen des Bauwerks (Konstruktion + Technische Anlagen) und des Betriebs unter Berücksichtigung verschiedener Gebäudeinformationen/-kennzeichen sowie die Ableitung von CO₂ Benchmarks erfolgt in Arbeitspaket 3. Die Ergebnisse der Untersuchung werden dokumentiert.

Arbeitspaket 4: Im letzten Schritt erfolgt eine Zusammenfassung der Ergebnisse sowie deren Bewertung auch hinsichtlich weiteren Forschungsbedarfs.

DARSTELLUNG DER STICHPROBE

Da der Fokus dieser Studie auf Büro- und Wohngebäude liegt, wurde dies bei der Auswahl der Gebäude aus dem Pool der zertifizierten Gebäude berücksichtigt. Nach detaillierter Prüfung – vor allem der Qualität der vorliegenden Daten – konnten 50 Gebäude zur weiteren Bearbeitung berücksichtigt werden. Diese verteilen sich nach Nutzungsart wie folgt:

- 46 Bürogebäude
- 4 Wohngebäude

Die Größe der Gebäude liegt in zwischen 583 m² und 40.400 m² Brutto-Grundfläche (BGFa). Die Gebäude lassen sich wie folgt drei Gruppen zuordnen:

- Gruppe 1: 500 bis 10.000 m² BGFa: 20 Objekte
- Gruppe 2: 10.000 bis 20.000 m² BGFa: 19 Objekte
- Gruppe 3: 20.000 bis 50.000 m² BGFa: 11 Objekte

Neben der Nutzungsart, Größe und den Qualitätsanforderungen an die vorliegenden Daten wurde auch auf Aktualität der Datensätze geachtet. Dies gewährleistet, dass die vorliegenden Daten auf Basis einheitlicher Normen und Rechenvorschriften erhoben wurden.

BESTIMMUNG DER DIFFERENZIERUNGSMERKMALE

Neben einer Auswertung über die gesamte Stichprobe, werden Differenzierungsmerkmale festgelegt und ebenfalls – falls vorhanden – mit erhoben und abgelegt. Diese werden als mögliche beeinflussende Faktoren in der weiteren Bearbeitung berücksichtigt und können helfen bestimmte Abweichungen zu erklären. Auch kann auf diese Liste bei zukünftigen Datenerhebungen zugegriffen werden. Sie stellt somit eine Grundlage für weitere Analysen dar.

Übersicht über die erhobenen Differenzierungsmerkmale:

Gebäude-Größen:

- Brutto-Rauminhalt (BRI) [m³]
- Brutto-Grundfläche (BGFa) [m²]
- Netto-Grundfläche (NGF) [m²]
- EnEV-Fläche [m²]
- LCA-Bezugsfläche [m²]
- Anzahl Geschosse (gesamt) [n]
- Anzahl der Untergeschosse [n]

Gebäude-Beschreibung:

- Nutzungsart
- Bauweise
- Material der primären Tragkonstruktion
- Art der Tragstruktur
- Fassadengestaltung
- Vorwiegendes Material der Fassade
- Decken/Bauteile:
- Grundrissstruktur

Gebäude -Technik:

- Endenergie Strom [kWh/(m²·a)]
- Endenergie Wärme [kWh/(m²·a)]
- Art der Wärmeversorgung
- PV-Anlage [kWh/a]
- Primärenergiebedarf Ist-Gebäude und Referenzgebäude [kWh/(m²·a)]
- Prozentuale Unterschreitung der ENEV-Anforderungen [%]

Gebäude – Thermische Hülle:

- Opake Außenbauteile [kWh/(m²·a)]
- Transparente Außenbauteile [kWh/(m²·a)]

Rechtliche Grundlage und Rechenmethode

- Angewandte EnEV Version
- Methode der Ökobilanzrechnung [vereinfacht oder detailliert]
- Verwendete Ökobau.dat-Datenbank-Version [Veröffentlichungsjahr]

RAHMENBEDINGUNGEN DER ERHEBUNG

Die Ermittlung der Ökobilanzergebnisse erfolgt getrennt für Betrieb und Bauwerk. Die Daten zur Herstellung des Bauwerks der untersuchten Gebäude werden gemäß DIN 276 Kostengruppen 300 und 400 auf 2. Ebene erhoben und dokumentiert (soweit vorhanden). Bei Verwendung des vereinfachten Verfahrens werden die entsprechenden Vorgaben des DGNB-Systems berücksichtigt.⁷ Ferner erfolgt eine differenzierte Ausweisung der Daten für die Instandsetzung (Ersatz = Modul B4) sowie für das Lebensende (Modul C3, C4 und D kumuliert). Ebenfalls einzeln ausgewiesen werden die Emissionen aus dem Energiebedarf des Gebäudebetriebs, der Modul B6 entspricht. Tabelle 1 gibt Auskunft über den Umfang der Module nach EN 15987⁸.

Lebenswegphasen gemäß DIN EN 15978	Herstellungsphase	Errichtungsphase	Nutzungsphase	Entsorgungsphase	Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenzen
Module gemäß DIN EN 15978	A1 – A3	A4 – A5	B1 – B7	C1 – C4	D
Bauwerk / „Konstruktion“	A1 Rohstoffbereitstellung A2 Transport A3 Herstellung	A4 Transport A5 Einbau / Baustelle	B1 Nutzung B2 Instandhaltung B3 Reparatur B4 Ersatz B5 Umbau / Erneuerung	C1 Abbruch C2 Transport C3 Abfallbewirtschaftung C4 Deponierung	D Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- und Recyclingpotenzial
Betrieb			B6 Betrieblicher Energieeinsatz B7 Betrieblicher Wassereinsatz		

Tabelle 1: Der Gebäudelebenszyklus mit seinen Lebenswegphasen gemäß DIN EN 15978 (grün markiert, die hier adressierten Module)

3. Ergebnisse der Auswertung

NORMIERUNG

Um den angestrebten Vergleich von Gebäude im Rahmen eines Benchmarking durchführen zu können, werden üblicherweise Kennzahlen verglichen. Diese bieten eine höhere Aussagekraft als der alleinige Vergleich der Grundzahlen. Im Gebäudesektor findet eine Angabe in Relation zur Größe eine breite Anwendung.⁹ Für die hier folgende Auswertung wird die Netto-Grundfläche (NGF) als Bezugsgröße festgelegt.

Die Angabe des Treibhausgasausstoßes erfolgt im Rahmen einer Ökobilanzierung als CO₂-Äquivalent. Dies ist eine Maßeinheit, die zur Vereinheitlichung der Klimawirkung der unterschiedlichen Treibhausgase vom Expertengremium der Vereinten Nationen IPCC entwickelt wurde.¹⁰ CO₂-Äquivalente werden auch als „Globales Erwärmungspotenzial“ (Global Warming Potential =GWP) bezeichnet und als „CO₂e“ abgekürzt.

TREIBHAUSGASEMISSIONEN BAUWERK (GWP_K)

Für die 50 ausgewählten Gebäude werden die Ergebnisse des Treibhauspotentials des Bauwerks, die im Rahmen der Ökobilanzierung ermittelt werden, zusammengetragen und ausgewertet. Alle Gebäude

⁶ DIN 276:2018-12: Kosten im Bauwesen

⁷ Vgl. DGNB: DGNB System Kriterienkatalog Gebäude Neubau, Version 2018

⁸ DIN EN 15978:2012-10: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden - Berechnungsmethode

⁹ Vgl. Stoy, Quante, Lasshof: BKI-Nutzungskosten Gebäude Statistische Kennwerte, Stuttgart, 2020

¹⁰ Vgl. <https://www.ipcc.ch/>

werden einheitlich mit der gleichen Ökobilanz-Methode bewertet. Der Boxplot in Abbildung 2 zeigt die Verteilung der zugrunde liegenden Daten. Die genauen Lagemaße sind in Tabelle 2 dargestellt.

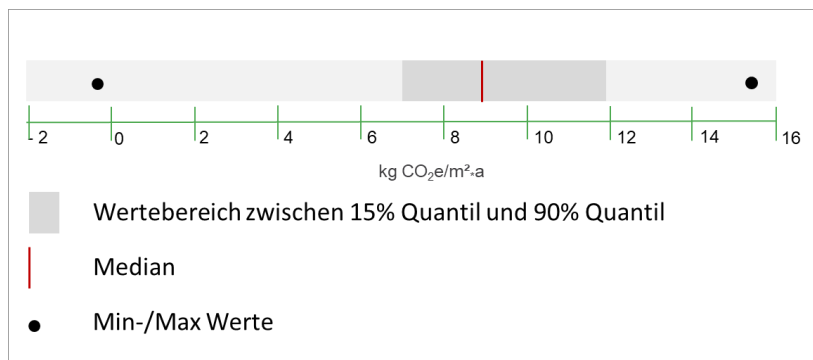


Abbildung 2: Statistische Kenngrößen aus der Analyse der Gebäude (Angabe für GWP_K [kg CO₂e/m²*a], n=50)

Statistische Werte	GWP_K [kg CO ₂ e/m ² *a]
Mittelwert	8,7
Median	8,8
Minimum	-0,4
Maximum	15,5
15% Perzentil	6,5
90% Perzentil	11,9

Tabelle 2: Gesamtmenge - Statische Werte für GWP_K (n=50)

Dabei zeigt sich, dass der Mittelwert bei 8,7 und der Median bei 8,8 kg CO₂e/m²*a liegen. Der minimale Wert liegt bei -0,4 kg CO₂e/m²*a und ist in Darstellung in Abbildung 1 als Ausreißer dargestellt. Das Maximum liegt bei 15 kg CO₂e/m²*a. Die Gruppe der Gebäude mit wenig Treibhausgasemissionen (unter 15% Perzentil) emittiert weniger als 6,5 kg CO₂e/m²*a.

Bewertung nach Bauteilen und Lebenswegmodulen

Im folgenden Schritt wird untersucht, welche Bauteile, sortiert nach Kostengruppe 300 der DIN 276, den größten Einfluss an den Treibhausgasemissionen des Bauwerks haben. Für 43 Gebäude liegen entsprechende Daten vor, die somit berücksichtigt werden.

Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse der Mittelwerte für die Herstellung der Bauteile der Kostengruppe 300 für die Module A1 – A3 sowie der Szenarien für Ersatz und Lebensende (kumuliert). Die Kostengruppe mit dem höchsten Anteil an der Herstellung, auch aus Lebenszyklusperspektive ist die Kostengruppe KG 350 (Decken). Außenwände und Gründung sind ebenfalls sehr relevant, gefolgt von den Innenwänden.

Die Abbildung stellt zusätzlich noch die KG 400 sowie das Modul B4 und kumuliert die Module C3, C4, D dar. Da die KG 400 nur pauschal ermittelt wurde, ist hierfür nur eine geringe Aussagekraft gegeben. Der relativ hohe Anteil des Moduls B4 „Ersatz“, in dem die Treibhausgasemissionen der rechnerisch auftretende Austausch von Bauteilen nach ihrer Nutzungsdauer ermittelt werden, liegt immerhin in der Größenordnung der Herstellung der Gründung. Da die Ergebnisse jedoch nicht zu den Bauteilen zuordenbar sind, lässt sich hieraus keine konkrete Empfehlung ableiten. Die Lebensend-Emissionen und Gutschriften sind mit der vorhandenen Datenlage ebenfalls nur kumuliert auswertbar. Eine größere Differenzierung in Emissionen und Gutschriften sowie eine Zuordnung zu Kostengruppen oder Bauteilen würde Klarheit über die zu erwartenden Folge-Emissionen nach der Herstellung

bringen. So lässt sich nur feststellen, dass das Lebensende aller Gebäude insgesamt – unter Beachtung der standardisierten Rechenregeln – eine netto-positive Wirkung auf die Gesamtbilanz aufweisen. Die aktuelle Diskussion um eine stärker an zukünftigen Entwicklungen orientierte Berechnung von Umweltwirkungen würde gegebenenfalls in eine andere Richtung weisende Ergebnisse für das Lebensende nach sich ziehen.

Werden die Module A 1 – A3 allein betrachtet, die mit dem Zeitpunkt der Baufertigstellung emittiert wurden („upfront emissions“, „Investitionsemissionen“), liegt der Mittelwert bei 7,3 kg CO₂e/m²a. Ohne Jahresbezug entspricht dies einer flächenbezogenen CO₂-Intensität von 365 kg CO₂e/m².

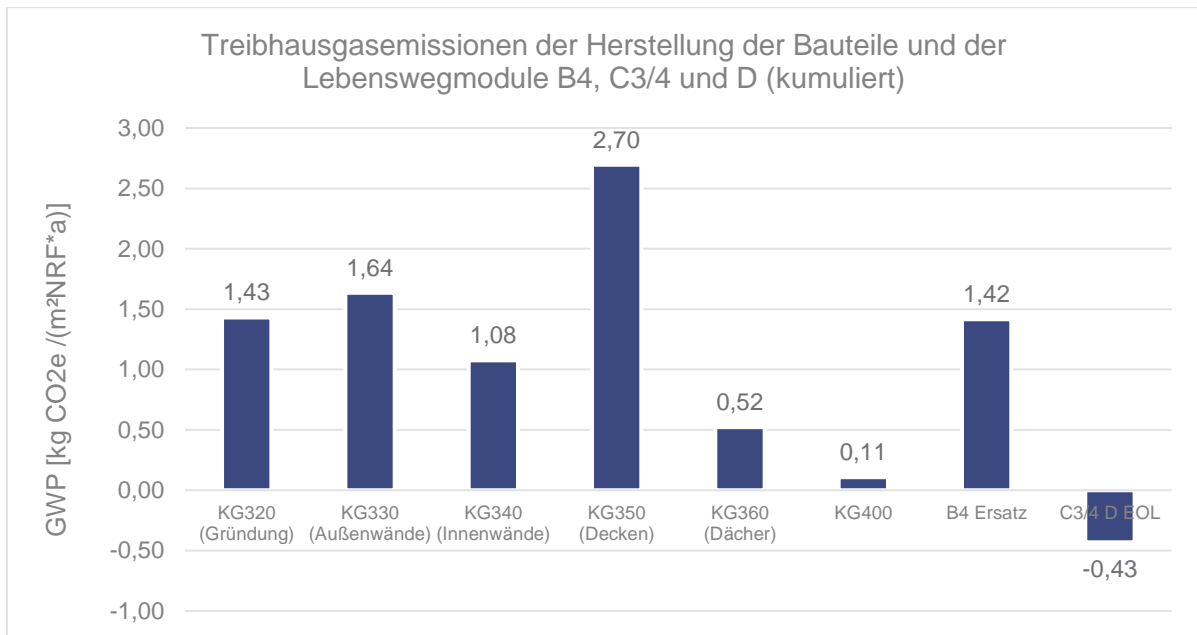


Abbildung 3: Treibhausgasemissionen nach Bauteilen (Mittelwerte, Module A1-A3, B4 und C3, C4 und D kumuliert)

Module A1 – A3 “upfront emissions” (n = 44)	GWP [kg CO ₂ e/m ² *a]
Mittelwert	7,3
Median	7,4

Tabelle 3: Mittelwert und Median der Module A1 – A3 der auswertbaren Gebäude (n = 44)

AUSWERTUNG NACH WEITEREN EINFLUSSFAKTOREN

Wurde im ersten Schritt die Auswertung über die Gesamtmenge der Gebäude dargestellt, soll nun in einem zweiten Schritt überprüft werden, ob und wie sich weitere ausgewählte Faktoren auf das dargestellte Ergebnis auswirken. Faktoren, die einen Einfluss zeigen, können im Rahmen eines Benchmarkings durch den Anwender berücksichtigt werden und unterstützen damit die Bewertung eines Gebäudes hinsichtlich des Treibhausgaspotentials.

Nutzungsart

Im vorliegenden Datenpool befinden sich 46 Bürogebäude und 4 Wohngebäude. Aufgrund der sehr geringen Datenmenge für Wohngebäude erfolgt für Gebäude mit der Nutzung Wohnen keine weitere

Analyse. Die 46 Bürogebäude werden hinsichtlich der Treibhausgasemissionen des Bauwerks (GWP_K) untersucht. Die Ergebnisse der Auswertung sind Tabelle 4 dargestellt. Im Vergleich zur Auswertung über alle Gebäude werden für die Gebäude mit der Nutzung „Büro“ etwas höhere Werte für den Mittelwert und den Median ermittelt. Der Mittelwert liegt bei 9,1 kg CO₂e/m²*a und damit 0,4 kg CO₂e/m²*a höher als der Mittelwert über alle Gebäude. Der Median liegt bei Bürogebäuden bei 9,0 kg CO₂e/m²*a damit ebenfalls etwas höher als bei allen Gebäuden (Median: 8,8 kg CO₂e/m²*a). Etwas höhere Werte ergeben sich auch für die 15% und 90%- Perzentile. Die minimalen und maximalen Werte sind identisch.

Statistische Werte Bürogebäude	GWP _K [kg CO ₂ e/m ² *a]
Mittelwert	9,1
Median	9,0
Minimum	5,5
Maximum	15,5
15% Perzentil	6,6
90% Perzentil	12,7

Tabelle 4: Bürogebäude - Statische Werte für GWP_K (n=46)

Bauweise (Tragstruktur + Material)

Alle 50 Gebäude werden hinsichtlich ihrer Bauweise und des Materials der Hauptstruktur klassifiziert. Es werden die Gruppen Holz-/ Holz-Hybridbauweise (n = 3), Massivbauweise (n = 25) und Stahlbeton-Skelettbauweise (n = 22) gebildet. In Tabelle 5 sind die Ergebnisse abgebildet. Aufgrund der geringen Fallzahl im Bereich der Holz-/ Holz-Hybridbauweise kann diese nicht in ähnlicher Weise dargestellt werden.

Statistische Werte	Massivbauweise GWP _K (n=25) [kg CO ₂ e/m ² *a]	Skelettbauweise GWP _K (n=22) [kg CO ₂ e/m ² *a]
Mittelwert	8,6	9,7
Median	8,2	9,4
Minimum	5,5	6,1
Maximum	14,1	15,5
15% Perzentil	6,6	7,4
90% Perzentil	11,1	13,8

Tabelle 5: Gebäude sortiert nach Bauweise/Material, Werte für GWP_K

Bei einer genaueren Analyse fallen einige Gebäude besonders auf. Die beiden Massivbau-Gebäude mit den höchsten GWP_K-Werten sind zum einen ein sehr hohes Gebäude (mit sehr hohem Anteil an den Decken) sowie ein kleineres Objekt mit Lochfassade. Ohne diese beiden Projekte läge der Mittelwert für Massivbauweise bei 8,1 kg CO₂e/m²*a, also ein halbes Kilogramm unter dem Mittelwert der Gruppe. Die drei Gebäude in Skelettbauweise mit ähnlichen und sehr hohen Treibhausgasemissionen sind alle sechsgeschossig und weisen überdurchschnittlich hohe Treibhausgasemissionswerte bei den Innenwänden und den Dächern auf.

Die Analyse zeigt, dass eine Korrelation zwischen Bauweise und den Treibhausgasemissionen der Konstruktion besteht. Gebäude in Holz- oder Holz-Hybridbauweise weisen einen sehr viel geringeren Wert auf als die beiden anderen Gruppen. Der Mittelwert liegt hier bei 2,7 CO₂e/m²*a. Allerdings besteht diese Gruppe nur aus drei Gebäuden. Damit ist dieser Wert nur von begrenzter Aussagekraft. Die Gruppe der Gebäude mit Massivbauweise liegt bei einem ca. 11 % geringeren Mittelwert als die in Stahlbeton-Skelettbauweise. Alle drei Gruppen weisen jedoch eine sehr hohe Streuung der Ergebnisse auf, die ermittelte Standardabweichung liegt bei 2,3. Abbildung 4 stellt grafisch die

Treibhausgasemissionen der Gebäude, abhängig von der Bauweise dar. Dabei lässt sich auch ablesen, dass eine Holz/Holzhybrid-Bauweise nicht in jedem Fall weniger CO₂ Emissionen verursacht als die anderen beiden Bauweisen. Bei genauerer Analyse bleibt festzuhalten, dass die Gruppe der besten Massiv- und Skelettbauweise-Gebäude (Gebäude innerhalb des 15 %-Perzentilwertes) jeweils 24 % unter dem Mittelwert liegen. Die Gruppe der schlechtesten Gebäude (repräsentiert über das 90 % Perzentil) liegt immerhin zwischen 30 und 40 % über dem Mittelwert.

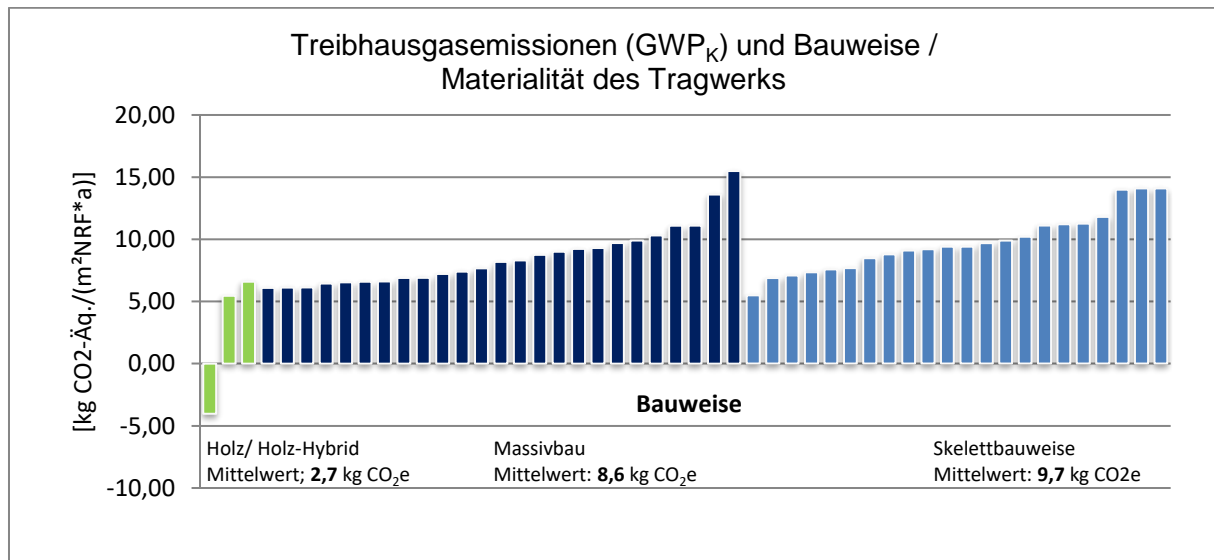


Abbildung 4: Treibhausgasemissionen (GWP_κ) in Abhängigkeit der Bauweise / Materialität des Tragwerks (n=50)

Gebäudebetrieb während der Nutzungsphase: Energieeffiziente Gebäude

In diesem Schritt wurde untersucht, ob es einen Zusammenhang zwischen den Treibhausgasemissionen eines energieeffizient genutzten Gebäudes während der Nutzungsphase und dessen Bauwerk gibt. Dazu wurde der Anteil der Treibhausgasemission am Gebäudebetrieb (GWP_N) an den gesamten Treibhausgasemissionen über den gesamten Lebenszyklus (GWP_κ + GWP_N) unter Beachtung der prozentualen Unterschreitung der Primärenergieanforderungen nach EnEV¹¹ ausgewertet.

Abbildung 5 stellt für alle Gebäude das Verhältnis der bauwerksbedingten sowie betriebsbedingten Treibhausgasemissionen dar. Obgleich eine Sortierung nach Ausstellungsdatum des Energieausweises umgesetzt wurde, ist keine deutliche Veränderung der Werte über die Zeit ablesbar.

Der Anteil des Bauwerks (GWP_κ) beträgt im Mittel 35 % der Treibhausgasemissionen über den gesamten Lebenszyklus. Das heißt, dass ca. zwei Drittel der Treibhausgasemissionen (über 50 Jahre gerechnet) durch den Gebäudebetrieb (GWP_N) und etwa ein Drittel durch die Herstellung, Nutzung und Rückbau zum Lebensende des Bauwerks verursacht werden. Dieses Verhältnis gilt für die Mittelwerte, den Median und sämtliche untersuchten Perzentilwerte. In der Einzelbetrachtung der Gruppe der Gebäude mit dem niedrigsten Wert für GWP_N (Betrieb) ist dieses Verhältnis jedoch anders: Bei den Gebäuden mit den geringsten Treibhausgasemissionen während der Nutzung ist dieses Verhältnis ausgeglichen.

¹¹ Die Studie wurde 2020 durchgeführt. Dementsprechend galten die Vorgaben der EnEV 2014. Seit 01.11.2020 ist die EnEV im GEG (Gebäudeenergiegesetz) aufgegangen und förmlich außer Kraft gesetzt.

Dennoch kann für die untersuchte Gruppe ein Zusammenhang zwischen Energieeffizienz des Betriebs und GWP_K gezeigt werden (siehe Tabelle 6). Die Gruppe der am wenigsten energieeffizienten Gebäude (Gebäude innerhalb der 15%-Gruppe der geringsten EnEV Unterschreitungen) haben einen geringeren GWP_K -Wert als die energieeffizientesten Gebäude (Gebäude innerhalb der 15%-Gruppe der höchsten EnEV Unterschreitungen). Die energetisch weniger anspruchsvollen Gebäude weisen im Mittel einen GWP_K -Wert von 7,5 kg CO₂e/m²*a auf, das sind 13 % weniger als der Mittelwert aller Gebäude. Der Mittelwert der sieben energieeffizientesten Gebäude ist hingegen um 1,1 kg CO₂e/m²*a höher und liegt bei einem Wert von 8,6 kg CO₂e/m²*a. Ferner konnte eine relativ hohe Streuung aller Ergebnisse beobachtet werden, die sich auch in den Standardabweichungen sowohl beim Wert für das Bauwerk als auch beim Wert für den Betrieb widerspiegelt (Standardabweichung s für GWP_K beträgt 3,1 und für GWP_N 9,1).

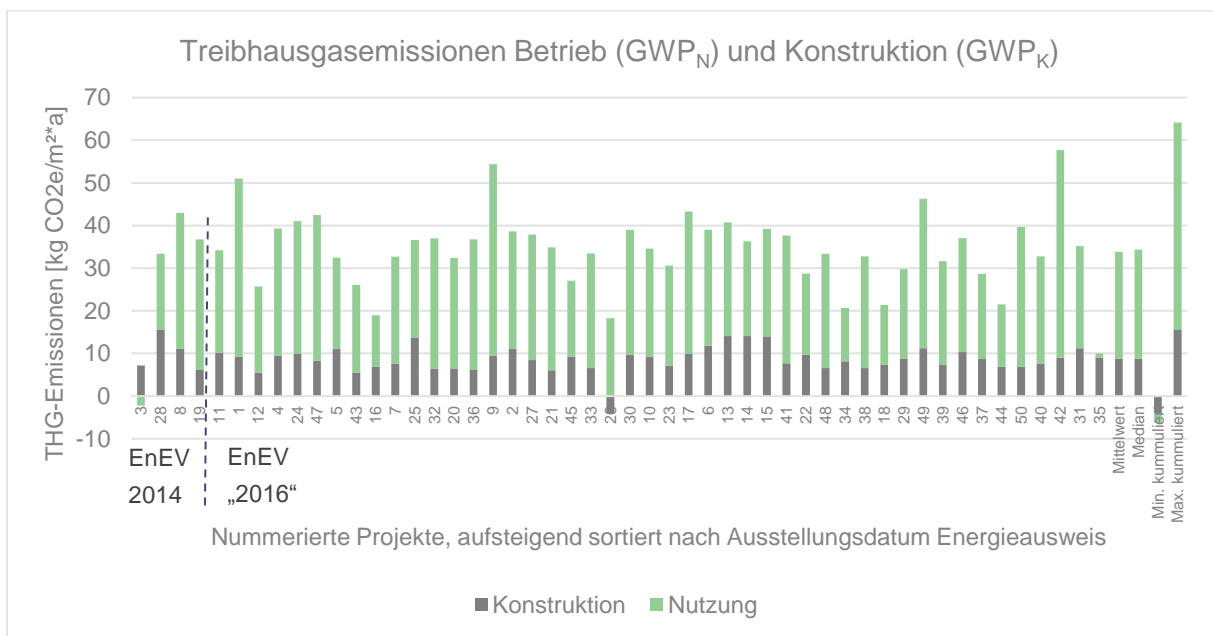


Abbildung 5: Treibhausgasemissionen aller Gebäude über den Lebenszyklus (n = 50), sortiert nach Datum des Energieausweises

Statistische Werte	Unterschreitung der Primärenergieanforderungen nach EnEV [%]	GWP_K [kg CO ₂ e/m ² *a]	GWP_N [kg CO ₂ e/m ² *a]
Mittelwert	24%	8,7	25,1
Median	22%	8,8	25,6
Minimum	3%	-0,4	-2,2
Maximum	58%	15,5	48,7
15% Perzentil	38%	6,5	18,0
90% Perzentil	7%	11,9	33,5
Mittelwert GWP_K 15% geringste EnEV Unterschreitung (n=7)		7,5	
Mittelwert GWP_K 15% höchste EnEV Unterschreitung (n=7)		8,6	

Tabelle 6: Treibhausgasemissionen für Bauwerk und Betrieb unter Beachtung der Energieeffizienz (n=50)

Anzumerken ist, dass für alle Projekte nur die vereinfachte Form der Ökobilanzierung vorliegt. Dies bedeutet, dass die Aufwendungen für die Gebäudetechnik (Kostengruppe 400) nur pauschal als

Aufschlagsfaktor in die Berechnung eingehen. Die Ergebnisse können also nicht widerspiegeln, ob energieeffiziente Gebäude aufgrund eines höheren Technikeinsatzes einen höheren GWP_K-Wert haben. Vermutlich würde dieser Wert noch höher ausfallen, da zumindest drei der sieben als energieeffizient eingestuften Gebäude PV-Anlagen installiert haben, die rechnerisch jedoch nicht in den GWP_K-Wert eingehen. Eine Abweichung vom Mittelwert nach oben ist für die energieeffizienten Gebäude bei detaillierter Ökobilanzierung also wahrscheinlich. Damit würden nicht nur die wenig energieeffizienten Gebäude (wie hier ermittelt 13 %) vom Mittelwert nach unten abweichen, sondern auch die energieeffizienten nach oben.

Geringe Treibhausgasemissionen im Betrieb

Die Untersuchung zum Zusammenhang zwischen Gebäuden mit geringen Treibhausgasemissionen im Betrieb und den Treibhausgasemissionen des Bauwerks, kommt zum Ergebnis, dass bei den analysierten Gebäuden keine Korrelation zwischen diesen beiden Werten besteht. Untersucht wurden dabei die neun Gebäude, die unter dem 15% Perzentil Wert von < 18 kg CO₂e/m²*a lagen. Zu beachten ist bei dieser Analyse die relativ geringe Anzahl der Gebäude sowie die Tatsache, dass für die Gebäude keine detaillierte Ökobilanzierung vorliegt.

Photovoltaik-Anlage

Eine Auswertung hinsichtlich der Auswirkungen einer PV-Anlage ist innerhalb dieser Studie nicht möglich, da für alle Gebäude nur die vereinfachte Form der Ökobilanzierung vorliegt. Dies bedeutet, dass die Aufwendungen für die Gebäudetechnik (Kostengruppe 400)¹² nur pauschal als Aufschlagsfaktor in die Berechnung eingehen. Die Ergebnisse können also nicht widerspiegeln, ob energieeffiziente Gebäude aufgrund eines höheren Technikeinsatzes einen höheren GWP_K-Wert haben.

Zeitpunkt der Ausstellung des Energieausweises und Einreiche-Datum

Eine Korrelation konnte weder zwischen dem Zeitpunkt der Ausstellung des Energieausweises noch dem Datum der Einreichung gegenüber den Werten für die Treibhausgasemissionen des Bauwerks (GWP_K) nachgewiesen werden. Die Energieausweise der Gebäude im Datenpool wurden von 2015 bis 2020 ausgestellt. Die Analyse lässt somit keine Aussagen zu, ob die Treibhausgasemissionen des Bauwerks über den Untersuchungszeitraum ansteigen oder zurückgehen.

Anzahl Geschosse

Alle 50 Gebäude wurden hinsichtlich ihrer Geschossanzahl ausgewertet. Dabei konnte kein Zusammenhang zwischen der Geschossanzahl und den Treibhausgasemissionen des Bauwerks (GWP_K) erkannt werden.

4. Ergebnisse der Auswertung

DARSTELLUNG UND EINORDNUNG DER ERGEBNISSE

Zur Ermittlung von Treibhausgasemissionen wurden die Angaben zu Treibhausgasemissionen des Bauwerks (GWP_K-Wert) von 50 DGNB zertifizierten Gebäuden systematisch erfasst und hinsichtlich verschiedener Untersuchungsaspekte analysiert. Die Untersuchungsaspekte umfassten Nutzungsart, Gebäudebetrieb, Anzahl der Geschosse, Bauweise, Beitrag von Bauteilen und Evaluation des

¹² Kostengruppe 400 nach DIN 276:2018-12: Kosten im Bauwesen

zeitlichen Verlaufs. Tabelle 7 zeigt die Ergebnisse der Analyse in Abhängigkeit der untersuchten Aspekte (sofern vorhanden).

Der Mittelwert aller Gebäude liegt mit 8,7 kg CO₂e/m²a und damit ca. 8% unter dem aktuellen Referenzwert der DGNB (9,4 kg CO₂e/m²a). Eine Studie des Umweltbundesamtes ermittelte für Neubauten ein CO₂-Äquivalent von 10 - 16 kg CO₂e/m²a. Beim Vergleich der Werte mit dieser Studie ist allerdings zu beachten, dass die zugrundeliegende Ökobilanz mit dem tatsächlichen CO₂ Aufwand für die Kostengruppe 400 gerechnet wurde.¹³

	15% Perzentil	Mittelwert	Median	90% Perzentil	Anzahl
Gebäude - gesamt	6,5	8,7	8,8	11,9	50
Herstellung der Gebäude (Module A1 bis A3) - „Investitionsemissionen“		7,3	7,37		44
Gebäude nach beeinflussenden Faktoren:					
Nutzungsart - Büro	6,6	9,1	9,0	12,7	46
Bauweise - Massivbauweise	6,6	8,6	8,2	11,1	25
Bauweise - Skelettbauweise	7,4	9,7	9,4	13,8	22
Energieeffizienz (EnEV-Unterschreitung), Angaben in %	38%	24%	22%	7%	50

Tabelle 7: Ergebnisse für Treibhausemissionen GWP_K [kg CO₂e/m²a] gesamt und in Abhängigkeit von beeinflussenden Faktoren

Die Gruppe der am besten abschneidenden Gebäude (abgeleitet vom 15 % Perzentilwert) weist einen GWP_K-Wert von 6,5 kg CO₂e/m²a auf. Interessant ist dabei, das Gebäude aus allen drei hier benannten Bauweisen sich in dieser Gruppe befinden. Insgesamt ist eine große Spannweite der Ergebnisse zu beobachten.

Eine Auswertung hinsichtlich der Nutzungsart ist aufgrund der Datenlagen nur für Bürogebäude möglich. Hier ergeben sich leicht höhere Werte als für die Gesamtheit der Gebäude. Hier stellt sich allerdings die Frage, ob die Nutzungsart der wesentlich beeinflussende Faktor ist oder ob viel mehr die gewählte Bauweise der Bürogebäude der entscheidende Faktor ist. Dies kann hier nicht zufriedenstellend geklärt werden. Es sind weitere Untersuchungen erforderlich.

Die Analyse, inwieweit Energieeffizienz (abgeleitet von der Unterschreitung des regulierten Primärenergiebedarfs vom Referenzwert gemäß Energieeinsparverordnung) und GWP_K zusammenhängen, zeigt, dass der Mittelwert, der als energieeffizient eingestuft Gebäude beim Mittelwert aller Gebäude liegt, jedoch die als wenig energieeffizient eingestuft Gebäude 13% geringere Treibhausgasemissionen der Konstruktion aufweisen als der Mittelwert aller Gebäude. Da jedoch die Kostengruppe 400 bei allen Gebäuden lediglich als pauschaler Aufschlag in die Bilanzierungen eingeflossen sind, kann keine Aussage zum Zusammenhang eines eventuell höheren Technikaufwandes energieeffizienter Gebäude und den damit einhergehenden Treibhausgasemissionen aus der Studie abgeleitet werden.

¹³ Vgl. UBA: Energieaufwand für Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus, Abschlussbericht. Nr. 132/2019; Umweltbundesamt, Dessau, 2019.

Das Verhältnis von Konstruktion zur Nutzung beträgt im Mittel 35% (Bauwerk) zu 65% (Nutzung). Damit liegen diese Werte im Bereich auch von anderen Untersuchungen, die einen Anteil von 25 – 40% ausweisen.¹⁴ Bei den Gebäuden mit den geringsten Treibhausgasemissionen während der Nutzung ist dieses Verhältnis ausgeglichen.

Die Anzahl der Geschosse konnte nicht in einen deutlichen Zusammenhang mit den GWP_K-Werten gebracht werden. Die Bauweise hingegen zeigt deutliche Unterschiede: Die in Holz- und Holzhybridweise gebauten Objekte weisen sehr viel geringere Treibhausgasemissionen der Konstruktion gegenüber dem Mittelwert auf. Massivbauten haben etwas geringere GWP_K-Werte als Stahlbetonbauten. Auch hier ist bei einer Bewertung die relativ breite Streuung der Daten zu berücksichtigen. In der Einzelfallbetrachtung zeigt sich, dass ein Holz-Hybridgebäude nicht per se besser als jeder Massiv- oder Stahlbetonbau ist.

Bei der Betrachtung der einzelnen Bauteile, stechen die Decken hervor, gefolgt von den Außenwänden und der Gründung. Optimierungen bei diesen Teilen haben somit einen großen Einfluss und sind somit zu empfehlen.

KRITISCHE BEURTEILUNG DER ERGEBNISSE

In die kritische Beurteilung der vorliegenden Ergebnisse sind folgende Punkte einzubeziehen:

- Größe und Umfang der Datenbasis

Ein Teil der Zwischenergebnisse basiert auf einer relativ kleinen Datenbasis von 50 Gebäuden. Ableitungen daraus sollten nicht für allgemeine Vorgaben genutzt werden. Zudem konnten nicht alle Projektdaten erfasst werden, die eine bessere Auflösung und weitere Korrelationen erlaubt hätten. So fehlen beispielsweise die Angaben zu Materialien der Fassaden und die Grundrissstruktur.

- Umgang mit Kostengruppe 400

Für die Kostengruppe 400 (Technische Gebäudeausstattung) konnten keine Erkenntnisse geliefert werden, da alle Gebäude mit Hilfe der vereinfachten Ökobilanzmethode berechnet wurden. Höhere Ergebnisse sind erwartbar, was verschiedene andere Studien zeigen.¹⁵ Mit der letzten Veröffentlichung des DGNB Zertifizierungssystems sind statt 10% Aufschlag nun 20% Aufschlag umzusetzen. Damit wird der Tatsache Rechnung getragen, dass die TGA einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die Ergebnisse hat. Zudem wird dieser Anteil mit steigendem Technisierungsgrad der Gebäude immer größer.

- Einfluss der Bauweise

Die geringe Anzahl an Holz- oder Holzhybrid-Bauten lässt es leider nicht zu, vergleichende Aussagen zu anderen Bauweisen vorzunehmen. Eine Tendenz zu sehr viel besseren Ergebnissen ist sichtbar, doch für verlässliche Empfehlungen ist eine größere Datenbasis notwendig.

AUSBLICK UND FAZIT

Im Rahmen dieser Studie konnte eine Einordnung aktueller Gebäude hinsichtlich des Treibhausgaspotentials des Bauwerks vorgenommen werden. Weitere detailliertere Auswertungen sind in diesem Bereich aber noch notwendig. Dabei sind drei Ansätze besonders zu verfolgen: Zum einen sollte die Kostengruppe 400 nicht pauschal, sondern im Rahmen einer detaillierten Berechnung berücksichtigt werden. Damit wäre es möglich eventuelle Wechselwirkungen zwischen dem

¹⁴ Vgl. UBA: Energieaufwand für Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus, Abschlussbericht. Nr. 132/2019; Umweltbundesamt, Dessau, 2019.

¹⁵ Vgl. UBA: Energieaufwand für Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus, Abschlussbericht. Nr. 132/2019; Umweltbundesamt, Dessau, 2019.

Treibhausgaspotential des Bauwerks zu dem der Nutzung zu untersuchen. Zum anderen sollte die Bauweise genauer analysiert werden. Im Rahmen dieser Studie konnte nur in Ansätzen ein Zusammenhang zwischen der Bauweise (in Abhängigkeit vom Material) und dem Treibhausgaspotential aufgezeigt werden. Und nicht zuletzt sollte dem Lebensende mehr Beachtung geschenkt werden, sowohl in der Differenzierung der Ergebnisse als auch in Optimierungen.

Auch aktuelle Ansätze zur „Kompensation“ von Treibhausgasemissionen des Bauwerks über den Lebenszyklus¹⁶ benötigen detaillierte Grundlagen zu den Wechselbeziehungen zwischen Emissionen von Bauwerk und Nutzung. Auch diese Ansätze sollten bei weiteren Forschungen Berücksichtigung finden.

Die vorgestellte Analyse erlaubt im Rahmen eines Benchmarkings eine Einordnung des jeweiligen, berechneten Gebäudes. Damit kann eine Aussage getroffen werden, ob sich das ermittelte Ergebnis eher im ambitionierten Bereich oder im Bereich der Gebäude mit relativ hohen Treibhausgasemissionen befindet. Wird so eine Bewertung während der Planungsphase eines Gebäudes durchgeführt, kann mit Hilfe von Variantenberechnungen Optimierungspotential aufgezeigt und im Idealfall während des Bauprozesses auch umgesetzt werden. Das Wissen zu Treibhausgasemissionen im Bauwerk und dessen Anwendung ist zu Erreichung der Klimavorgaben im Paris-Abkommens unerlässlich und stellt damit einen wichtigen Baustein für die anstehende Entwicklung dar. Um im Sinne vieler Klimawissenschaftler zu agieren wäre jedes Jahrzehnt mindestens eine Halbierung der globalen Emissionen notwendig. Die Errichtung neuer Gebäude dürfte in diesem Sinne dann lediglich 4,3 kg CO₂e/m²*a emittieren. Um die zeitliche Komponente der Emissionen noch zu betrachten wäre eine Halbierung der Module A1 bis A5 notwendig. Es ist deshalb dringend notwendig, die Treibhausgasemissionen der Module A4 und A5 zu kennen oder zumindest abschätzen zu können und auch hierfür Reduktionsziele zu setzen. Für einen möglichen Benchmark für die Module A1 – A3 würde sich der aktuelle Mittelwert von 7,3 kg CO₂e/m²*a, oder ohne Jahresbezug von 365 kg CO₂e/m² anbieten. Ein Zielwert im Sinne der Klimawissenschaftler läge für diese „Investitionsemissionen“ also bei 3,7 kg CO₂e/m²*a bzw. bei 183 kg CO₂e/m².

Da die Gebäude, die in die Ermittlung aller Benchmarks eingeflossen sind, nur wenige sehr „gute“ Werte aufwiesen, und sich der aktuelle Mittelwert vom bisherigen Referenzwert der DGNB um lediglich 8% unterscheidet, wäre eine Analyse weiterer, „sehr guter“ Gebäude mit geringen Treibhausgasausstoß des Bauwerks wichtig. Planende können die DGNB mit Berechnungen wegweisender Projekte unterstützen. Ein Datenerfassungsblatt hierfür ist derzeit in Entwicklung und eine Erweiterung dieser Studie geplant.

¹⁶ DGNB: DGNB „Rahmenwerk für Klimaneutrale Gebäude und Standorte“ (<https://www.dgnb.de/de/themen/klimaschutz/rahmenwerk/index.php> Stuttgart, 2020)

Glossar

Benchmarking	Benchmarking ist ein fortlaufender Prozess, bei dem Produkte und Dienstleistungen eines Unternehmens (hier eines Gebäudes) an einer Benchmark, also an einem festgelegtem Bezugswert oder Bezugsprozess gemessen werden.
CO ₂ -Äquivalent	CO ₂ Äquivalente sind eine Masseneinheit zur Vereinheitlichung der Klimawirkung der unterschiedlichen Treibhausgase.
GWP	Global Warming Potential = dt. Treibhausgaspotential. Es dient zur Abschätzung der Auswirkungen von Treibhausgasen.
GWP	Global Warming Potential = dt. Treibhausgaspotential. Es dient zur Abschätzung der Auswirkungen von Treibhausgasen.
LCA	Die Lebenszyklusanalyse (auch Ökobilanz) ist eine Methode zur Ermittlung von Umweltauswirkungen. Sie kann für einzelne Baustoffe, für Bauteile und für das gesamte Gebäude (inklusive Gebäudenutzung) durchgeführt werden. Dabei können die Umweltauswirkungen von der Herstellung bis zum Lebensende betrachtet werden. Mit Hilfe der Lebenszyklusanalyse kann das CO ₂ -Äquivalent eines Gebäudes ermittelt werden.
Median	Der Median teilt eine Stichprobe in zwei Hälften gleicher Größe. Er wird auch Zentralwert genannt.
Mittelwert	Der Mittelwert wird auch Durchschnittwert genannt. Zur Berechnung addiert man alle Werte eines Datensatzes und teilt die Summe durch die Anzahl der Werte.
Quantil	Ein Quantil definiert einen bestimmten Teil der Datenmenge. Mit Angabe eines Quantils wird definiert, wie viele Werte einer Stichprobe über oder unter einer bestimmten Grenze liegen.
Treibhausgase	Neben Kohlendioxid (CO ₂) nennt das Kyoto-Protokoll fünf weitere Treibhausgase: Methan (CH ₄), und Lachgas (N ₂ O) sowie die fluorierten Treibhausgase (F-Gas): wasserstoffhaltigen Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW) und Schwefelhexafluorid (SF ₆). Seit 2015 wird Stickstofftrifluorid (NF ₃) zusätzlich einbezogen. Diese Gase werden durch Anwendung der sogenannten GWP-Werte miteinander normiert werden.

Abkürzungsverzeichnis

BRI	Brutto-Rauminhalt definiert nach DIN 277-1:2016-01
BGF	Brutto-Grundfläche definiert nach DIN 277-1:2016-01
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V.
EnEV	Energieeinsparverordnung (2020 abgelöst durch GEG)
GEG	Gebäudeenergiegesetz (ab 01.11.2020)
GWP _K	Global Warming Potential des Bauwerks / Konstruktion + Anlagentechnik)
GWP _N	Global Warming Potential der Nutzung
LCA	Life cycle assesement = dt. Ökobilanz
kg	Kilogramm
NGF	Netto-Grundfläche definiert nach DIN 277-1:2005-02 (ab Januar 2016: DIN 277-1:2016-01)

Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Tabelle 1: Der Gebäudelebenszyklus mit seinen Lebenswegphasen gemäß DIN EN 15978 (grün markiert, die hier adressierten Module).....	5
Tabelle 2: Gesamtmenge - Statische Werte für GWP _K (n=50).....	6
Tabelle 3: Mittelwert und Median der Module A1 – A3 der auswertbaren Gebäude (n = 44).....	7
Tabelle 4: Bürogebäude - Statische Werte für GWP _K (n=46).....	8
Tabelle 5: Gebäude sortiert nach Bauweise/Material, Werte für GWP _K	8
Tabelle 6: Treibhausgasemissionen für Bauwerk und Betrieb unter Beachtung der Energieeffizienz (n=50).....	10
Tabelle 7: Ergebnisse für Treibhausgasemissionen GWP _K [kg CO ₂ e/m ² a] gesamt und in Abhängigkeit von beeinflussenden Faktoren.....	12
Tabelle 8: Kerninformationen der analysierten Objekte.....	18
Abbildung 1: Übersicht der Arbeitspakete.....	3
Abbildung 2: Statistische Kenngrößen aus der Analyse der Gebäude (Angabe für GWP _K [kg CO ₂ e/m ² a], n=50).....	6
Abbildung 3: Treibhausgasemissionen nach Bauteilen (Mittelwerte, Module A1-A3, B4 und C3, C4 und D kumuliert).....	7
Abbildung 4: Treibhausgasemissionen (GWP _K) in Abhängigkeit der Bauweise / Materialität des Tragwerks (n=50).....	9
Abbildung 5: Treibhausgasemissionen aller Gebäude über den Lebenszyklus (n = 50), sortiert nach Datum des Energieausweises.....	10

Anhang

Projekt #	Hauptnutzung	Bauweise	Unterschreitung PE Anf. der EnEV (%)	Flächen-Klasse (BGF)	GWPK	GWPN	Anzahl der Geschosse	UG	KG320 (Gründung)
1	Büro	Skelettbauweise	26%	500 - 10000	9,2	41,8	5	1	1,86
2	Büro	Massivbau	36%	20000 bis 50000	11,1	27,5	18	2	1,09
3	Büro	Massivbau	44%	500 - 10000	7,2	-2,2	4	1	1,48
4	Büro	Skelettbauweise	28%	500 - 10000	9,4	29,9	7	1	2,40
5	Büro	Skelettbauweise	20%	500 - 10000	11,1	21,4	8	1	3,02
6	Büro	Skelettbauweise	48%	500 - 10000	11,8	27,2	5	1	1,07
7	Büro	Massivbau	10%	10000 bis 20000	7,7	25,1	7	1	2,20
8	Büro	Massivbau	51%	500 - 10000	11,1	31,9	2	0	
9	Büro	Skelettbauweise	29%	20000 bis 50000	9,4	45	10	3	
10	Büro	Massivbau	39%	10000 bis 20000	9,3	25,3	7	1	1,85
11	Büro	Skelettbauweise	7%	500 - 10000	10,2	24	7	2	
12	Büro	Skelettbauweise	34%	10000 bis 20000	5,5	20,2	10	4	
13	Büro	Skelettbauweise	19%	20000 bis 50000	14,1	26,6	6	1	0,44
14	Büro	Skelettbauweise	27%	10000 bis 20000	14,1	22,2	6	1	0,44
15	Büro	Skelettbauweise	20%	10000 bis 20000	14	25,2	6	1	0,44
16	Wohnen	Massivbau	32%	10000 bis 20000	6,9	12,1	10	1	0,15
17	Büro	Massivbau	30%	20000 bis 50000	9,9	33,4	7	1	1,04
18	Wohnen	Massivbau	45%	500 - 10000	7,4	14	7	1	0,47
19	Büro	Massivbau	40%	10000 bis 20000	6,1	30,7	9	2	
20	Büro	Massivbau	17%	10000 bis 20000	6,5	25,9	8	1	
21	Büro	Massivbau	21%	10000 bis 20000	6,1	28,8	6	0	0,34
22	Büro	Massivbau	6%	500 - 10000	9,7	19	9	2	
23	Büro	Skelettbauweise	31%	10000 bis 20000	7,1	23,5	4	1	0,41
24	Büro	Skelettbauweise	29%	10000 bis 20000	9,9	31,1	7	1	0,59
25	Büro	Massivbau	36%	500 - 10000	13,6	23	3	0	2,21
26	Wohnen	Holz-Massivbau	4%	500 - 10000	-4,0	18,3	3	0	2,04
27	Büro	Skelettbauweise	12%	10000 bis 20000	8,5	29,4	8	1	1,28
28	Büro	Massivbau	20%	10000 bis 20000	15,5	17,9	19	2	1,84
29	Büro	Skelettbauweise	23%	500 - 10000	8,8	21	5	1	1,98
30	Büro	Skelettbauweise	21%	10000 bis 20000	9,7	29,3	8	1	1,74
31	Büro	Skelettbauweise	0%	20000 bis 50000	11,3	23,9	9	2	1,93
32	Büro	Massivbau	30%	10000 bis 20000	6,4	30,6	8	1	0,69
33	Büro	Massivbau	7%	10000 bis 20000	6,6	26,9	7	1	4,34
34	Büro	Massivbau	6%	500 - 10000	8,2	12,5	5	1	0,85
35	Büro	Skelettbauweise	0%	500 - 10000	9,1	0,9	8	3	1,65
36	Büro	Massivbau	24%	20000 bis 50000	6,1	30,7	6	0	0,33
37	Büro	Massivbau	9%	500 - 10000	8,8	19,9	6	1	1,36
38	Büro	Massivbau	25%	10000 bis 20000	6,6	26,2	6	1	0,50
39	Büro	Skelettbauweise	15%	10000 bis 20000	7,3	24,3	7	1	1,16
40	Büro	Skelettbauweise	n.v.	500 - 10000	7,6	25,2	6	1	1,30
41	Büro	Skelettbauweise	20%	20000 bis 50000	7,7	30,0	7	1	0,41

42	Büro	Massivbau	n.v.	20000 bis 50000	9,0	48,7	6	1	2,14
43	Wohnen	Holz-Hybridbau	20%	500 - 10000	5,5	20,6	10	1	0,73
44	Büro	Massivbau	58%	500 - 10000	6,9	14,6	3	0	1,05
45	Büro	Massivbau	38%	20000 bis 50000	9,2	17,8	9	2	2,54
46	Büro	Massivbau	8%	20000 bis 50000	10,3	26,8	9	3	3,46
47	Büro	Massivbau	18%	500 - 10000	8,3	34,2	2	0	1,82
48	Büro	Holz-Hybridbau	15%	500 - 10000	6,6	26,8	6	0	0,89
49	Büro	Skelettbauweise	3%	10000 bis 20000	11,2	35,1	8	1	2,51
50	Büro	Skelettbauweise	10%	20000 bis 50000	6,9	32,8	8	1	1,48

Tabelle 8: Kerninformationen der analysierten Objekte

Stand

August 2021

Herausgeber und Ansprechpartner

Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen –DGNB e.V.
Tübingerstr. 43
70178 Stuttgart
www.dgnb.de

Autor*innen & Mitwirkende

Dr. Anna Braune, Levan Ekhvaia, Kathrin Quante