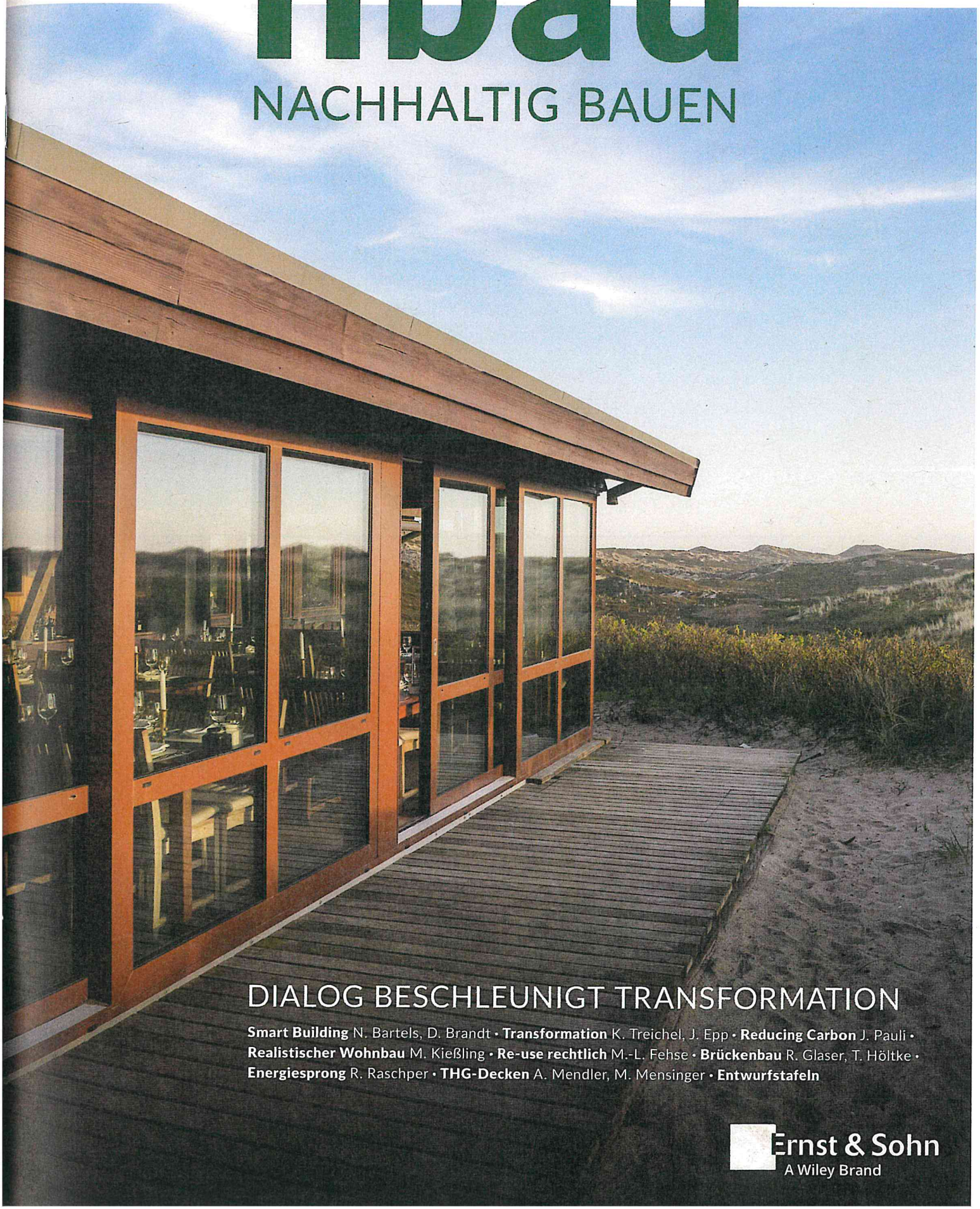
05

3. Jahrgang
Oktober 2024
ISSN 2750-8382

nbau

NACHHALTIG BAUEN



DIALOG BESCHLEUNIGT TRANSFORMATION

Smart Building N. Bartels, D. Brandt • **Transformation** K. Treichel, J. Epp • **Reducing Carbon** J. Pauli • **Realistischer Wohnbau** M. Kießling • **Re-use rechtlich** M.-L. Fehse • **Brückenbau** R. Glaser, T. Höltke • **Energiesprung** R. Raschper • **THG-Decken** A. Mendler, M. Mensinger • **Entwurfstafeln**

Ernst & Sohn
A Wiley Brand

Treibhausgasemissionen verschiedener Deckensysteme

Andreas Mendler, Martin Mensinger

Derzeit beträgt die weltweite Emission anthropogener CO_2-Emissionen etwa 50 Gt/a, wobei das Bauwesen zu etwa 50 % daran beteiligt ist. In Deutschland gibt es im Zuge der Transformation große Bestrebungen, den Ausstoß klimaschädlicher Gase um mindestens das Dreifache zu reduzieren und gleichzeitig Ressourcen sowie Materialien in Neubauten und Bestandsgebäuden einzusparen. Parallel dazu werden im Bauwesen neue Ansätze entwickelt, um das Abfallaufkommen sämtlicher Baustoffe und Baukonstruktionen zu verringern und diese in einen zirkulären Kreislauf zu integrieren, gemäß den Prinzipien der Big 5: reduce – re-use – recycle – refuse – repair. Die Reduktion der Treibhausgasemissionen der Deckensysteme spielt dabei eine wichtige Rolle.

1 Einleitung

Um die Klimaschutzziele bis 2045 und die Anforderungen der EU-Taxonomie zu erfüllen, müssen Gebäude künftig in Form einer Ökobilanzierung nach DIN EN 15978 vergleichbar gemacht werden, ähnlich, wie es derzeit mit dem Energieausweis für den Betrieb von Gebäuden geschieht. Dabei werden Umweltwirkungen wie Klimaerwärmung, Versauerung, Sommersmog und Ozonabbau rechnerisch bewertet und dargestellt.

Der Ökobilanzierung liegen Umweltproduktdeklarationen (EPDs) zugrunde, die aus verschiedenen Datenbanken wie z. B. ÖKOBAUDAT abgerufen und mit den ermittelten Massen und Flächen multipliziert werden können. Auf Gebäude-, Bauteil- und Materialebene bietet die Tragwerksplanung und dabei die verschiedenen Deckensysteme einen bedeutenden Hebel, um Treibhausgasemissionen zu reduzieren, Abfallmengen zu minimieren und Ressourcen bei Baustoffen, Bauweisen und Baukonstruktionen effizienter zu nutzen.

2 Potenziale

In Bild 1 sind die ungefähren Anteile der konstruktionsbedingten Treibhausgasemissionen (THG) eines Wohngebäudes dargestellt. Deutlich erkennbar ist, dass die Emissionen der Deckenanteile etwa 40 % des Gesamten ausmachen und flächenmäßig die größten Anteile eines Gebäudes darstellen. Daher ist die Optimierung der Deckensysteme, gefolgt von den tragenden Wänden, als wichtigster Hebel im konstruktiven Bereich zur Vermeidung klimaschädlicher Treibhausgasemissionen zu betrachten. Die Reduktion der Bauteilmassen führt zu einer Verringerung des CO_2-Verbrauchs der Bauteile und einer Verkleinerung der Fundamente, was wiederum Ressourcen einspart.

Die größten Potenziale zur CO_2-Reduktion liegen in den ersten drei Planungsphasen. In diesen Phasen wird wesentlich entschieden, wie nachhaltig ein Gebäude errichtet oder umgebaut wird. Mit fortschreitenden Planungsphasen nimmt das CO_2-Einsparungspotenzial ab.

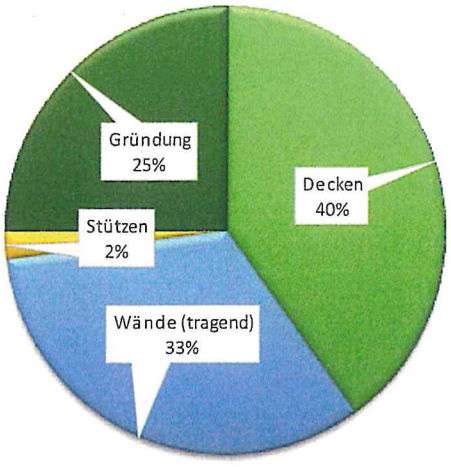
3 Grundsätze der Deckenvergleiche

Dieser Bericht konzentriert sich auf die Treibhausgasemissionen verschiedener Deckensysteme, die miteinander verglichen werden. Dabei bildet die Betrachtung der Deckensysteme allein nur einen Teil der Wahrheit ab. Die Höhe der CO_2-Emissionen dieser Systeme hängt stark von Faktoren wie Verkehrslasten, Spannweiten, Ausnutzungsgraden sowie Art und Häufigkeit der unterstützenden Wände und Stützen ab. Eine umfassende Ökobilanzierung ist erforderlich, um Gebäude hinsichtlich des CO_2-Verbrauchs aus Konstruktion und Betrieb miteinander vergleichen zu können.

In den Berechnungen werden vereinfachend nur Einfeldträgersysteme in die Emissionsbetrachtung einbezogen. Tatsächlich verfügen einige Deckensysteme über einen zweiachsigen Lastabtrag oder wirken als Durchlaufträger, wodurch Biegelinie und Durchbiegung angehoben werden. Dadurch könnten dünnere Systeme realisiert werden.

Tatsächlich müssen die Deckensysteme in Kombination mit der unterstützenden Struktur betrachtet werden. Kleinere Deckenspannweiten haben zwar ein geringeres GWP, erfordern jedoch mehr tragende Wände und Stützen, die wiederum das GWP erhöhen. Auch die Nutzungsdauer der Bauteilsysteme sollte in einer ganzheitlichen Ökobilanzierung berücksichtigt werden. Ein direkter Vergleich der Deckensysteme muss daher immer vorsichtig betrachtet werden und sollte im Gesamtkontext der Ökobilanzierung des gesamten Gebäudes erfolgen. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, die resultierenden Anteile am gesamten GWP der Baustoffe eines Deckensystems herauszufiltern und sichtbar zu machen. Dies ermöglicht ein besseres Verständnis für die nachhaltige Optimierung eines Deckentragwerks.

Es werden die Phasen A1–A3 (Herstellungsphase) sowie C3, C4 (Abfallbehandlungs-, Entsorgungsphase) betrachtet. Das Recyclingpotenzial D wird lediglich zur Information bereitgestellt, was in



Quelle: Mendler Ingenieur Consult

Bild 1 Übersicht über konstruktionsbedingte Treibhausgasemissionen im Wohngebäude

der Fachwelt zu kontroversen Diskussionen führt. Die Module C1, C2 (Rückbau, Abtransport) sowie B1, B8 (Betrieb) werden bei den folgenden Deckensystemen nicht berücksichtigt. Dies führt manchmal zu Verwirrung, da bspw. die Ökobilanzierung gemäß QNG die Phasen A1–A3, B4, B6, C3, C4 einbezieht. Die uneinheitliche Berücksichtigung der einzelnen Phasen wird in Zukunft mit Sicherheit weiterhin kontrovers diskutiert werden.

4 EPD (Environmental Product Declaration)

Die Umweltproduktinformationen werden aktuell nach DIN EN 15804+A2 [1] erstellt und sind kostenlos auf mehreren Plattformen wie ÖKOBAUDAT (derzeit ca. 1400 EPDs) abrufbar. Dabei werden die EPDs als generische, herstellerspezifische, durchschnittliche und repräsentative Datensätze mit unterschiedlichen GWP-Werten (Global Warming Potential) angegeben, bspw. in kg CO_2 pro Masse oder Fläche. Diese Werte dienen als Indikatoren für die Umweltwirkungen. Mit welchen GWP-Werten (hoch oder niedrig) man in welcher Planungsphase rechnen muss, ergibt sich aus der Betrachtungslogik: *vom Allgemeinen zum Detail.*

5 GWP (Treibhauspotenzial)

In den folgenden Betrachtungen der Deckensysteme werden daher die minimalen und maximalen GWP-Werte aus den EPDs von ÖKOBAUDAT, IBU und Kiwa herangezogen. Diese Werte spiegeln die Daten aus dem DBV-Heft 50, Band 3 [2] wider.

Ziel ist es, schnell Transparenz darüber zu schaffen, in welcher Bandbreite die GWP-Werte der einzelnen Baustoffe liegen, da es sehr unterschiedliche Datenwerte der Hersteller für scheinbar ähnliche oder vergleichbare Produkte gibt. Zusätzlich wird bei einigen Deckensystemen der absolut geringste herstellerspezifische Wert betrachtet.

Tab. 1 Treibhauspotenzial GWP verschiedener Baustoffe für die Module A1–A3, C3, C4

Beton	A1–A3	C3, C4	Total	
min GWP, C20/25	122	4,3	126	kg CO_2-eq/m³
min GWP, C25/30	134	5	139	kg CO_2-eq/m³
min GWP, C30/37	147	4,5	152	kg CO_2-eq/m³
min GWP, C40/50	165	2,8	168	kg CO_2-eq/m³
min GWP, C45/55	175	2,9	178	kg CO_2-eq/m³
max GWP, C20/25	157	5,1	162	kg CO_2-eq/m³
max GWP, C25/30	176	5	181	kg CO_2-eq/m³
max GWP, C30/37	196	5,1	201	kg CO_2-eq/m³
max GWP, C40/50	276	0,7	277	kg CO_2-eq/m³
max GWP, C45/55	273	5,1	278	kg CO_2-eq/m³
abs. min GWP, C25/30 (Holcim)	129,2	3,8	133	kg CO_2-eq/m³

Betonstahl	A1–A3	C3, C4	Total	
min GWP, Betonstahl	474	0,7	475	kg CO_2-eq/t
max GWP, Betonstahl	888	0,3	889	kg CO_2-eq/t
abs. min GWP, Betonstahl (ArcelorMittal)	300	1,6	302	kg CO_2-eq/t

Baustahl	A1–A3	C3, C4	Total	
min GWP, Baustahl	560	0	560	kg CO_2-eq/t
max GWP, Baustahl	1050	42,3	1092	kg CO_2-eq/t
abs. min GWP, Baustahl (Stahlwerk Thüringen)	335	1,6	337	kg CO_2-eq/t

Brettsperrholz	A1–A3	C3, C4	Total	
min GWP, Brettsperrholz	−660	753	93	kg CO_2-eq/m³
max GWP, Brettsperrholz	−624	762	138	kg CO_2-eq/m³

Drei- und Fünf-Schicht-Massivholzplatte	A1–A3	C3, C4	Total	
GWP, Massivholzplatte	−647	810	163	kg CO_2-eq/m³

6 Treibhauspotenzial verschiedener Deckensysteme

6.1 Stahlbetondecke (Bild 2)

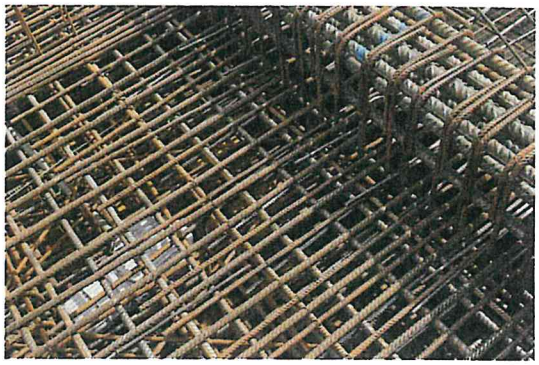


Bild 2 Beton C25/30, Betonstahl 500

Tab. 2 Treibhauspotenzial GWP Stahlbetonplatte für die Module A1–A3, C3, C4 (kg CO_2-eq/m²)

Spannweite (EFT)	L = 3,0 m			L = 6,0 m			L = 9,0 m			L = 12 m		
Deckenstärke	h = 0,16 m			h = 0,22 m			h = 0,35 m			h = 0,45 m		
Bewehrungsgehalt (kg/m³)	80			120			180			240		
GWP	best	min	max	best	min	max	best	min	max	best	min	max
Beton	21	22	29	29	31	40	47	49	63	60	63	84
Betonstahl	4	6	11	8	13	23	19	30	56	33	51	96
GPW	**25**	**28**	**40**	**37**	**43**	**63**	**66**	**79**	**119**	**92**	**114**	**177**

6.2 Brettsperrholzdecke

Tab. 3 Treibhauspotenzial GWP Brettsperrholzdecke für die Module A1–A3, C3, C4 (kg CO_2-eq/m²)

Spannweite (EFT)	L = 3,0 m		L = 6,0 m		L = 9,0 m		L = 12 m	
Deckenstärke	h = 0,12 m		h = 0,26 m		unüblich		unüblich	
GWP	min	max	min	max	min	max	min	max
Brettsperrholz	11	17	24	36				
GPW	**11**	**17**	**24**	**36**				

6.3 Treibhauspotenzial klassische Stahlträger-Verbunddecke (Bild 3)

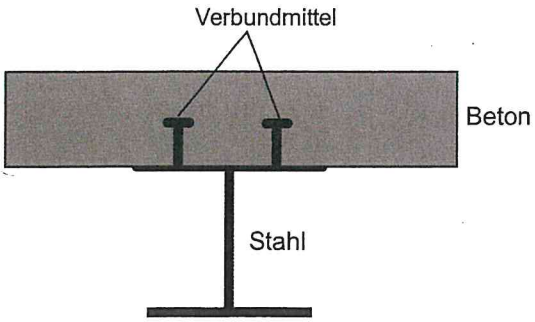


Bild 3 Klassische Verbunddecke, Beton C25/30, Betonstahl 500, Stahlgüte S355

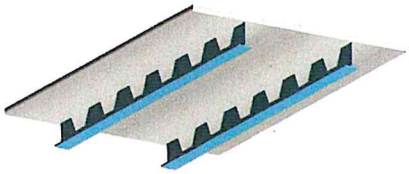
Tab. 4 Treibhauspotenzial GWP Stahlträger-Verbunddecke für die Module A1–A3, C3, C4 (kg CO_2-eq/m²)

Spannweite (EFT)	L = 3,0 m			L = 6,0 m			L = 9,0 m			L = 12 m		
Achsabstand				e = 3,0 m			e = 3,3 m			e = 3,5 m		
Deckenstärke				h = 0,12 m			h = 0,14 m			h = 0,14 m		
Profil				IPE 220			IPE 330			IPE 450		
Bewehrungsgehalt untere Lage (kg/m³)				60			60			60		
Konstruktionshöhe	unüblich			34 cm			47 cm			59 cm		
GWP	best	min	max	best	min	max	best	min	max	best	min	max
Beton				16	17	22	19	19	25	19	19	25
Betonstahl				2	3	6	4	6	11	4	6	11
Baustahl				3	5	10	5	8	16	7	12	24
Feuerverzinkung				2	2	2	3	3	3	5	5	5
GPW				**23**	**27**	**39**	**31**	**37**	**56**	**35**	**43**	**65**

6.4 Stahlträger-Verbunddecke, Topfloor Integral mit Positivlage (Stahlbetonplatte oben) (Bild 4)

Tab. 5 Treibhauspotenzial GWP Stahlträger-Verbunddecke Topfloor Integral Positivlage für die Module A1–A3, C3, C4 (kg CO_2-eq/m²)

Spannweite (EFT)	L = 3,0 m			L = 6,0 m			L = 9,0 m			L = 12 m		
Achsabstand				e = 2,5 m			e = 2,5 m			e = 2,5 m		
Deckenstärke oben				h = 0,10 m			h = 0,10 m			h = 0,10 m		
Profil				IPE 200			IPE 300			IPE 360		
Bewehrungsgehalt untere Lage (kg/m³)	unüblich			60			60			60		
GWP	best	min	max	best	min	max	best	min	max	best	min	max
Beton				13	13	17	13	13	17	13	13	17
Betonstahl				2	3	5	2	3	5	2	3	6
Baustahl				4	7	14	6	10	19	8	13	26
GPW				**19**	**23**	**36**	**21**	**26**	**41**	**23**	**29**	**49**



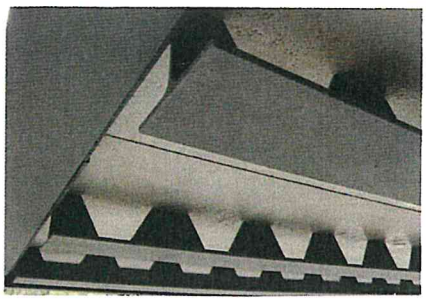


Bild 4 Topfloor Integral Positivlage, Beton C25/30, Betonstahl 500, Stahlgüte S355

6.5 Stahlträger-Verbunddecke, Topfloor Integral mit Negativlage (Stahlbetonplatte unten) (Bild 5)

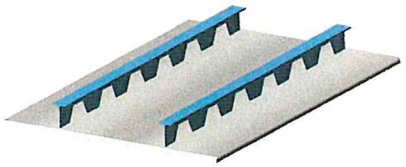


Bild 5 Topfloor Integral Negativlage, Beton C25/30, Betonstahl 500, Stahlgüte S355, wenn ein Doppelboden gewünscht wird

Tab. 6 Treibhauspotenzial GWP Stahlträger-Verbunddecke Topfloor Integral Negativlage für die Module A1–A3, C3, C4 (kg CO_2-eq/m²)

Spannweite (EFT)	L = 3,0 m			L = 6,0 m			L = 9,0 m			L = 12 m		
Achsabstand				e = 2,5 m			e = 2,5 m			e = 2,5 m		
Deckenstärke unten				h = 0,10 m			h = 0,10 m			h = 0,10 m		
Deckenstärke oben				h = 7 cm			h = 7 cm			h = 7 cm		
Profil				IPE 200			IPE 300			IPE 360		
Bewehrungsgehalt untere Lage (kg/m³)	unüblich			100			110			150		
GWP	best	min	max	best	min	max	best	min	max	best	min	max
Beton				13	13	17	13	13	17	13	13	17
Betonstahl				3	5	9	3	5	10	4	7	13
Baustahl				4	7	14	6	10	19	8	13	26
Massivholzplatte				11	11	11	11	11	11	11	11	11
GPW				**31**	**36**	**51**	**33**	**39**	**57**	**36**	**44**	**67**

7 Fazit und Grundsätze der Deckenplanung

Da die Decken- und Wandsysteme mit über 70 % den größten Einfluss auf die Emissionen eines Gesamttragwerks haben, bieten sie die größten Potenziale zur CO_2-Einsparung. Deckentragwerke, die nur das Eigengewicht und die Verkehrslasten eines einzelnen Geschosses tragen müssen, sind vorteilhafter im Vergleich zu Abfangdecken. Wenn Abfangdecken bspw. das Gewicht von fünf Vollgeschossen tragen müssen, können sich ihre Deckenstärken auf das Drei- bis Vierfache einer Standarddecke erhöhen.

Es gibt keine bevorzugten Deckensysteme, sondern lediglich Tendenzen, ab welchen Spannweiten die Deckensysteme nachhaltig und wirtschaftlich sind. Vergleicht man die Deckensysteme bei einer Spannweite von 6 m, stellt man fest, dass alle Stahlträgerdecken dieselben GWP-Werte wie die Brettsperrholzdecke aufweisen. Da die Brettsperrholzdecke ab 6 m Spannweite nicht mehr wirtschaftlich ist, beginnt die nachhaltige Effizienz der Stahlsystemdecken und reicht bis zu einer Spannweite von 12 m. Stahlträgerdecken mit Spannweiten von 12 m weisen ein GWP von mindestens 23 kg CO_2-eq/m² und maximal 67 kg CO_2-eq/m² auf. Aus Sicht der Autoren sind die Stahlträgerdecken daher die Gewinner der CO_2-Einsparung bei großen Spannweiten.

Vergleiche mit Spannbetonhohlplatten, Stahlbetonrippendecken oder vorgespannten Plattenbalkendecken zeigen bei 12 m weit höhere GWP-Werte als die günstigste Stahlträgerdecke, Topfloor Integral mit Positivlage [3]. Trotz der hohen GWP-Werte für Baustahl genießen Stahlträgerdeckensysteme einen sehr guten Ruf in Bezug auf die Nachhaltigkeit, da der Verbundquerschnitt aus Stahl und Beton zu einer hervorragenden Gesamtökobilanz führt. Dies ist einerseits auf den großen E-Modul und die hohe Festigkeit von Stahl zurückzuführen, andererseits auf die Verbundwirkung zwischen den Baustoffen.

Im Bereich höherer Deckenspannweiten für Stahlverbundträgersysteme sollten, wie baupraktisch üblich, zulässige Überhöhungen ausgenutzt werden, um die Trägerhöhen zu reduzieren. Dies ist wichtig, da meist die Grenzzustände der Durchbiegung gegenüber der Tragfähigkeit maßgebend sind. Tatsächlich schneiden die Deckensysteme, die überwiegend in Deutschland im Hochbau zum Einsatz kommen, am schlechtesten ab. Allerdings kann man den Betondecken nicht pauschal den schlechtesten Ruf zuweisen, da eine umfassende Ökobilanz eines Gebäudes erforderlich ist, um alle Deckensysteme im Gesamtkontext unter Berücksichtigung bauordnungs- und zivilrechtlicher Belange bewerten zu können.

Zwischen 9 m und 12 m Spannweite ist der Einsatzbereich von Betondecken beschränkt, da die CO_2-Emissionen bis zum Vierfachen derjenigen von Stahlträger-Verbunddecken ansteigen. Außerdem ist es sinnvoll, die Tiefgaragenraster in Wohngebäuden an die Obergeschosse anzupassen, um unnötig dicke Abfangdecken und zahlreiche Unterzüge zu vermeiden. Tragende Wände und Stüt-

zen sollten also übereinandergestellt werden, um einen geraden Lastpfad zu gewährleisten.

Brettsperrholzdecken hingegen weisen im Bereich von 3 m bis 6 m sehr geringe GWP-Werte auf, weshalb ihr Einsatz bei diesen Spannweiten sinnvoll ist. Ebenso sollten zu geringe Materialausnutzungsgrade der Deckensysteme vermieden werden. Bei Betondecken wirkt sich eine Erhöhung der Deckenstärke um wenige Zentimeter bei gleichzeitiger Reduktion der Betongüte vorteilhaft auf das GWP aus [4].

Jeder Baustoff und jedes Deckensystem haben das Potenzial, klimaschädliche Gase und Ressourcen einzusparen. Die Planung der Deckensysteme sollte daher nicht isoliert, sondern im gesamtheitlichen Kontext betrachtet werden.

Literatur

[1] DIN EN 15804+A2 (2022) *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte*; Deutsche Fassung EN 15804:2012+A2:2019 + AC:2021. Berlin: Beuth. Ausgabe März 2022.

[2] DBV-Heft 50 (2024) *Nachhaltiges Bauen mit Beton – Deckensysteme – Tragwerksentwurf für den Klimaschutz*. Bd. 3. Ausgabe Mai 2024.

[3] Mensinger, M.; Fontana, M. (2010) *Entwicklung eines multifunktionalen Deckensystems mit erhöhter Ressourceneffizienz*. Stahlbau 79, H. 4, S. 282–297. https://doi.org/ 10.1002/stab.201001320

[4] Weidner, S.; Bechmann, R.; Mrzigod, A. (2023) *Emissionsarmes Bauen mit Beton*. Beton- und Stahlbetonbau 118, H. 5, S. 332–340. https://doi.org/10.1002/best.202300023

Autor:innen
Dipl.- Ing. (FH) Andreas Mendler, a.mendler@mendler-consult.de
Mendler Ingenieur Consult, Windach
www.mendler-consult.de

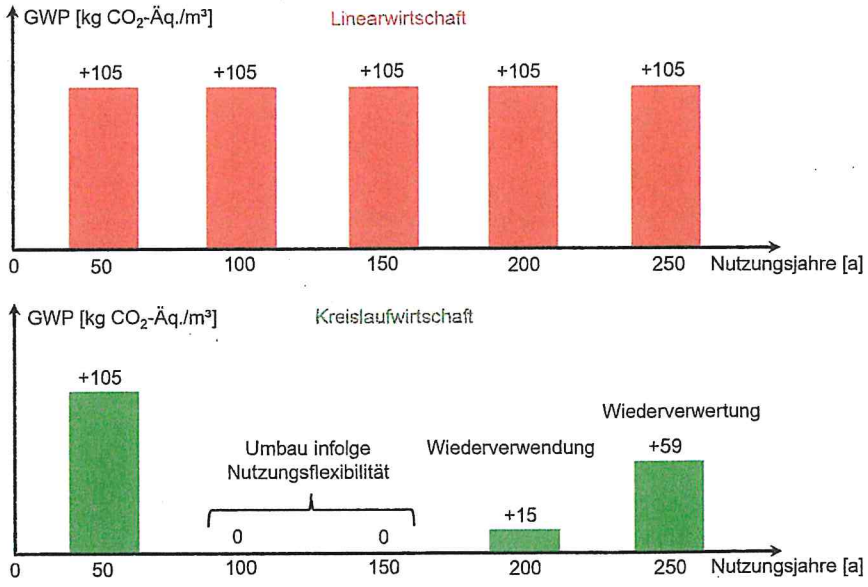
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Martin Mensinger,
info@mensinger-stadler.de
Mensinger Stadler, München, Chiemsee, Kaiserslautern
www.mensinger-stadler.de

Empfehlung der Redaktion

Legitimation der kreislaufeffektiven Holzbauweise – Nachweis der Klimaschutzwirkung

Das Nachhaltigkeitsgebot fordert, dass nur maximal so viel Holz aus dem Wald entnommen wird, wie im gleichen Zeitraum nachwächst. Daher ist das jährlich zur Verfügung stehende Erntevolumen für die Verwendung im Bauwesen begrenzt, auch vor dem Hintergrund, dass andere Wirtschaftsbereiche verstärkt auf den Rohstoff Holz zurückgreifen. Anzustreben ist dementsprechend die Maximierung der Kohlenstoffspeicherung als Summe aus dem im Wald gebundenen Kohlenstoff und der stofflichen Verwendung von Holz. Für das Bauwesen bedeutet dies die Langlebigkeit der Baukomponenten, indem die Ressource Holz kreislaufeffektiv eingesetzt wird. Im Beitrag wird zum einen die strategische Herangehensweise zur Steigerung der Kreislauffähigkeit der Holzbauweise vorgestellt. Zum anderen wird der klimarelevante Nachweis der Notwendigkeit kreislaufeffektiven Bauens erbracht und mit einer dynamischen Bilanzierungsmethode nachgewiesen. Dazu wird für den Ressourcenverbrauch und das Treibhauspotenzial aufgezeigt, wie das kreislaufeffektive Bauen grundsätzlich und im Besonderen mit Holz quantifiziert werden kann.

Graf, J.; Hao, B.; Birk, S.; Poteschkin, V.; Shi, W.; Klopfer, R.; Jagsch, C.; Ciesla, E.-M. (2024) *Legitimation der kreislaufeffektiven Holzbauweise – Nachweis der Klimaschutzwirkung*. Bautechnik (zur Veröffentlichung angenommen). https://doi.org/10.1002/bate.202300087



Bemessungsmodell Gesamtbilanzierung: GWP für 1 m³ Konstruktionsvollholz (KVH) in der Linear- und Kreislaufwirtschaft gemäß DIN EN 15978, Betrachtungszeitraum 250 Jahre