

Ökobilanzierung in der Tragwerks- und Fassadenplanung

Der folgende Beitrag beschreibt die Implementierung von Methoden der Ökobilanzierung als Entwurfs- und Entscheidungshilfe in den Planungsprozessen eines Ingenieurbüros. Die Anwendung wird anhand von praktischen Projektbeispielen in der Tragwerks- und Fassadenplanung erläutert. Es werden konkrete Planungsszenarien aufgegriffen und aufgezeigt, welche Entwurfsentscheidungen durch entsprechende Analysen unterstützt und beeinflusst wurden und wie sich diese im weiteren Projektverlauf entwickelt haben. Konkrete Berechnungsbeispiele dienen der praktischen Anschauung und sollen Impulse für Tragwerks- und Fassadenplaner:innen geben. Die derzeitigen bau- und planungsrechtlichen Rahmenbedingungen werden kurz erläutert, um die vorgestellten Methoden hinsichtlich ihrer Wirkung auf den ökologischen Fußabdruck von Gebäuden zu bewerten.

Stichworte Ökobilanzierung; Entwurfsentscheidungen; nachhaltiges Bauen; Methoden und Werkzeuge

Life cycle assessment in structural and façade design

The following article describes the implementation of life cycle assessment methods as a design and decision-making tool in the planning processes of an engineering practice. The application is explained using practical project examples in structural and facade engineering. Specific design scenarios are shown. It is described which design decisions were supported and influenced by corresponding analyses and how they developed during the project. Specific calculation examples serve as a practical illustration and are intended to provide inspiration for structural and facade planners. The current building and planning legal framework is briefly explained in order to evaluate the methods presented in terms of their effect on the ecological footprint of buildings.

Keywords life cycle assessment (LCA); integrated planning; sustainable building; methods and tools

1 Einleitung

Die Ökobilanzierung hat sich als wichtiges Werkzeug etabliert, um die Umweltwirkung von Gebäuden systematisch zu erfassen und zu quantifizieren. Dabei wird besonders das Global Warming Potential (GWP), also das Treibhauspotenzial eines Bauwerks – auch als CO₂-Fußabdruck oder graue Emissionen der Konstruktion bezeichnet – in den Fokus gerückt. Idealerweise wird die GWP-Betrachtung fest in den Planungsprozess integriert, um fundierte Entscheidungsgrundlagen für das komplette Planungsteam und die Bauherrenschaft zu schaffen.

Die Anfang 2024 überarbeitete EU-Gebäudeeffizienzrichtlinie zielt darauf ab, die Ziele des Pariser Klimaabkommens von 2015 zu unterstützen. Im Rahmen des europäischen Green Deal sind die Mitgliedstaaten gemäß Artikel 7 Absatz 2 der Richtlinie verpflichtet, sicherzustellen, dass ab 2028 für alle Neubauten mit einer Nutzfläche von über 1000 m² (ab 2030 gilt dies für alle Neubauten) das Lebenszyklus-Treibhauspotenzial im Energieausweis ausgewiesen wird [1]. Dies bedeutet, dass die Erstellung einer Ökobilanz oder LCA-Berechnung für alle Neubauten verpflichtend wird. Zudem sind die Mitgliedstaaten angehalten, bis zum 1. Januar 2027 Grenzwerte für das gesamte kumulative Lebenszyklus-Treibhausgaspotenzial neuer Gebäude einzuführen, wobei diese nach Klimazonen und Gebäudetypen differenziert werden sollen. Außerdem sollen Zielvorgaben für neue Gebäude ab

2030 festgelegt werden. In Deutschland stellt die Ökobilanzierung bisher keine gesetzliche Pflicht dar. Gleichwohl setzt das Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG) für Wohngebäude erstmals verbindliche Grenzwerte fest. Unter der Annahme einer etwa hälftigen Aufteilung der Gesamtemissionen auf Betrieb und Konstruktion und einem Anteil der CO₂-Emissionen von tragenden Bauteilen an der Konstruktion von ca. 50 % ergibt sich aus den definierten Grenzwerten für Wohngebäude für das Tragwerk ein Budget von ca. 300 kg CO₂-Äq./m² für die QNG-Plus-Zertifizierung und 250 kg CO₂-Äq./m² für die QNG-Premium-Zertifizierung [2]. Dänemark ist hier bereits weiter und lässt für Wohngebäude und Nichtwohngebäude einen Maximalwert von ca. 150 kg CO₂-Äq./m² für das Tragwerk unter den vorherigen Annahmen zu [3]. Ein Maßstab, der den Handlungsbedarf in Deutschland unterstreicht. Bei der DGNB-Zertifizierung ist die Ökobilanzierung zwar Bestandteil, allerdings lediglich mit 9,5 % von der Gesamtbewertung, was die Relevanz freiwilliger Nachhaltigkeitsmaßnahmen betont [4]. Die im August 2024 neu veröffentlichte DAfStb-Richtlinie „Treibhausgasreduzierte Tragwerke aus Beton, Stahlbeton oder Spannbeton“ zeigt einen Minderungsbedarf eines CO₂-Budgets für tragende Bauteile angefangen von einem Referenzgebäude von 2020 mit 250 kg CO₂-Äq./m² für Wohngebäude und 320 kg CO₂-Äq./m² für Nichtwohngebäude auf [5]. Die dargestellten Treibhausgasreduzierungsklassen reduzieren sich um bis zu 70 % auf 75 kg CO₂-Äq./m² für Wohngebäude und

96 kg CO₂-Äq./m² für Nichtwohngebäude. Auch hier werden noch keine verbindlichen Minderungsklassen gefordert; diese sind mit den Auftraggeber:innen zu vereinbaren. Die aufgezählten Entwicklungen zeigen, dass die CO₂-Emissionen bereits jetzt und besonders in den kommenden Jahren einen entscheidenden Parameter in der Bewertung von Bauwerken darstellen. Dies verschärft sich, sobald in Deutschland verpflichtende Grenzwerte für alle Neubauten eingeführt werden. Entsprechend ist das Befassen mit dem Thema Ökobilanzierung und Berechnung von CO₂-Emissionen eine entscheidende Aufgabe für Ingenieur:innen geworden.

Um hinsichtlich der CO₂-Emissionen der in der Planung befindlichen Projekte Aussagen zu treffen und diese als Entwurfswerkzeug zu nutzen, wurden bürointerne digitale Werkzeuge entwickelt – von einfachen Excel-Tools bis hin zu komplexen Schnittstellen, die Daten aus 3D-Modellen und Berechnungssoftware mit der Ökobilanzierung verknüpfen. So lassen sich Umweltwirkungen von Tragwerk und Fassade bereits in der Entwurfsphase bewerten. Diese Tools sind vielseitig einsetzbar und für Projekte jeder Größe und Funktion geeignet.

Der folgende Beitrag stellt die Anwendung dieser Tools vor. Es wird verdeutlicht, wie die Materialien Holz, Stahlbeton und Stahl in unterschiedlichen Kontexten eingesetzt wurden und wie die entwickelten Werkzeuge auf eine Vielzahl von Projekten angewandt werden können. Die Projektbeispiele zeigen, dass die Erkenntnisse aus der Ökobilanzierung stets projektspezifisch interpretiert werden müssen. Anhand konkreter Planungsszenarien wird erläutert, welche Entwurfsentscheidungen durch die Ökobilanzierung unterstützt und beeinflusst wurden und wie sich diese im weiteren Verlauf des Projekts entwickelt haben. Konkrete Berechnungsbeispiele bieten praxisnahe Einblicke und sollen insbesondere Tragwerks- und Fassadenplaner:innen wertvolle Impulse für eine nachhaltigere Bauweise geben.

2 Ökobilanzierung in der Tragwerksplanung

Im Folgenden wird die praxisnahe Anwendung der Ökobilanzierung in der Tragwerksplanung während der Leistungsphasen 2–4 vorgestellt. In diesen frühen Planungsphasen müssen grundlegende Entscheidungen des Planungsteams getroffen werden, die maßgeblich die CO₂-Bilanz des Gebäudes beeinflussen. Als ein zentraler Aspekt könnte die Reduzierung oder sogar der vollständige Verzicht auf unterirdische Geschosse diskutiert werden. Unterirdische Geschosse erfordern oft den Einsatz großer Mengen an Beton und Stahl, die besonders CO₂-intensiv in der Herstellung sind. Der Verzicht auf diese Geschosse stellt somit eine wirkungsvolle Möglichkeit dar, um die Umweltbelastung des Bauwerks zu verringern.

Darüber hinaus werden bereits in den frühen Planungsphasen systematische Entscheidungshilfen zur Auswahl geeigneter Tragkonstruktionen bereitgestellt. Besonders

großflächige Bauteile wie Decken und Wände stellen einen wichtigen Einflussfaktor auf die CO₂-Bilanz des Gebäudes dar. Dementsprechend sollten die CO₂-Äq. der verschiedenen Deckensysteme je m² in jedem Projekt zu Planungsbeginn aufgestellt werden. Dies ermöglicht erste Vergleiche und integriert die CO₂-Bilanzierung als wichtiges Entscheidungskriterium in den Planungsprozess.

Soll das grundsätzliche Deckensystem in einer Wettbewerbs- oder Vorentwurfsphase gewählt werden, sind i. d. R. die Spannweiten bzw. Raster, die zur Verfügung stehenden statischen Höhen sowie die Auswahl einer bestimmten Konstruktionsweise wie z. B. Massivbauweise oder Holzbauweise wichtige Kriterien. Um sofort bei dieser grundlegenden Variantenstudie den Einfluss der Entwurfsentscheidung auf die CO₂-Emissionen des Deckensystems zu sehen, kann die auf Grundlage einer Vielzahl von abgeschlossenen Projekten entwickelte Deckenmatrix genutzt werden (Bild 1). Diese Matrix ermöglicht es, für definierte CO₂-Grenzwerte die zur Verfügung stehenden Deckensysteme – vordimensioniert für spezifische Spannweiten – in Hinblick auf die Einhaltung der CO₂-Kriterien zu sortieren. So lässt sich mit geringem Aufwand entscheiden, welche Varianten für die weitere Planung in Betracht kommen (Bild 2). Die Berechnungen stützen sich auf Daten der ÖKOBAUDAT, der Datenbank des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen.

Zur besseren Veranschaulichung dient das 15-geschossige Holz-Hybrid-Hochhaus The Change in Eschborn als Praxisbeispiel. Im betrachteten Projekt wurde früh entschieden, ein Holz-Hybrid-Tragwerk zu realisieren. Dennoch wurde zur internen Bewertung ein Vergleich mit alternativen Tragwerksystemen durchgeführt, darunter ein klassisches Stahlbetontragwerk und eine Holz-Hybrid-Flachdecke.

Um eine realistische Vergleichsbasis zu schaffen, wird bei der Ökobilanzierung normalerweise der Einfluss bauphysikalisch notwendiger Bodenaufbauten in die Analyse miteinbezogen, da diese je nach Deckensystem variieren können. Bei Wohngebäuden haben diese Aufbauten einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die Bilanz, auch wenn sie kein direkter Bestandteil des Tragwerks sind. Beispielsweise kommt bei einer Holzdecke oftmals eine zusätzliche Schüttung aus mittels Latexmilch gebundenem Kies zum Einsatz, um den Schallschutzanforderungen zwischen den einzelnen Geschossen zu genügen, während die Masse einer vergleichbaren Stahlbetondecke ausreicht, um auf weitere Maßnahmen verzichten zu können. Angesichts der geplanten Büronutzung im vorliegenden Beispiel und eines zum Einsatz kommenden Hohlraumbodens waren keine zusätzlichen Maßnahmen nötig.

Die CO₂-Äq. der verwendeten Materialien wurden systematisch erfasst und grafisch aufbereitet, um die Emissionsunterschiede der verschiedenen Deckensysteme anschaulich darzustellen. Die Ökobilanzierung in der frü-

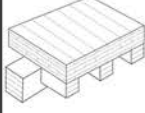
Project Name	
Project Number	
Project Location	
Project Phase	
Date	
Author	

LCA SLAB MATRIX

Input Parameters	
Database	Ökobaudat
Include Life Cycle Stage D	No

Grid Selection	6x6m
----------------	------

Ranking Parameters (Optional)	
Global Warming Potential Target (kgCO2e/m2)	70
Floor Height Target (mm)	1000
Flat Soffit Required	No
Ranking Based on	GWP

Ranking overview				
Most Suitable Floor Construction		PASS	GWP Rate	19,2kgCO2e/m2
	K		Structural Height	580mm
	Glulam Frame with Ribdeck Slabs		Structural Height (Including Build-ups + MEP)	780mm

Comparison Summary

Based on Structural Embodied Carbon Calculator - Cradle to Gate Life Cycle Stages A1-A3 +C3 +C4 (+D)

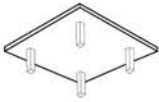
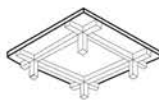




Slab Construction				GWP Rate	GWP Rate (including Build-ups)	Structural Height	Structural Height (Including Build-ups + MEP)	
A	Reinforced Concrete Flat Slab		Concrete C30/37	220 mm slab	68,1kgCO2e/m2	107,3kgCO2e/m2	220mm	571mm
			Reinforcing Steel	100kg/m³				
B	Reinforced Concrete Two-way Spanning Slab		Concrete C30/37	170 mm slab	58,3kgCO2e/m2	97,5kgCO2e/m2	350mm	701mm
			Concrete C30/37	300 x 300 mm Beams (incl. Slab) (x2)				
			Reinforcing Steel	Slab - 80kg/m³ Beams - 300kg/m³				
C	Precast Concrete Frame		System	BRESPA A26Q	89,6kgCO2e/m2	133,6kgCO2e/m2	550mm	911mm
			Reinforcing Steel	145kg/m³				
			C40/50 Underslung beam	300mm x 550mm				
D	Steel Composite Standard Beams with RC Slab on Metal Decking		Concrete C30/37	130 mm (96 mm effective)	81,8kgCO2e/m2	125,4kgCO2e/m2	360mm	560mm
			Reinforcing Steel	60 kg/m³				
			Metal Decking	ComFlor® 60, t = 1,00 mm				
			Steelwork	Secondaries - IPE220 (x3) Primaries - HEA240 5 % connections				
E	Steel Composite Cellular Beams with RC Slab on Metal Decking		Concrete C30/37	130 mm (96 mm effective)	83,9kgCO2e/m2	127,6kgCO2e/m2	360mm	360mm
			Reinforcing Steel	60 kg/m³				
			Metal Decking	ComFlor® 60, t = 1,00 mm				
			Steelwork	Secondaries - IPE240 (x3) Primaries - HEA240 5 % connections				
F	Slimflor System - Steel Standard Beams with Precast Planks & Topping Screed (upto 50mm upstand into finishes)		Topping Concrete C30/37	50 mm	129,5kgCO2e/m2	173,1kgCO2e/m2	310mm	510mm
			Reinforcing Steel	50 kg/m³				
			Precast System	BRESPA A26Q				
			Steelwork	Ties - IPE200 Primaries - HE3240 15x440 mm underplate 5 % connections				

Bild 1 Deckenmatrix (Quelle: B+G)
Slab matrix

LCA Slab Matrix Report

Project Name

Ökobaudat
Erstes Datum: Databa...

BOLLINGER+GROHMANN

Embodied Carbon Staates A1-A3+C3+C4
Exclude Stage D

Global Warming Potential (kgCO₂e/m²) excluding Build-Ups

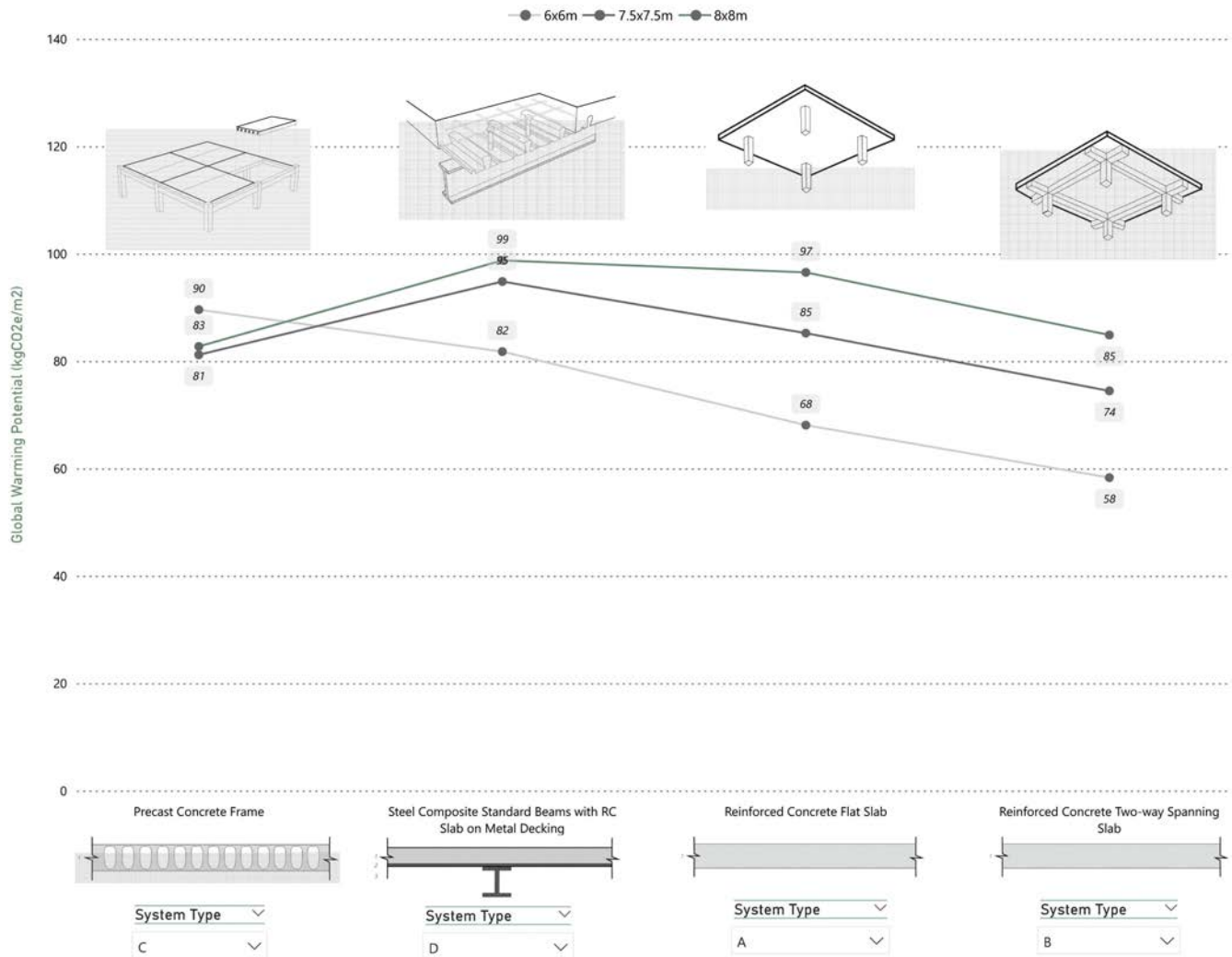


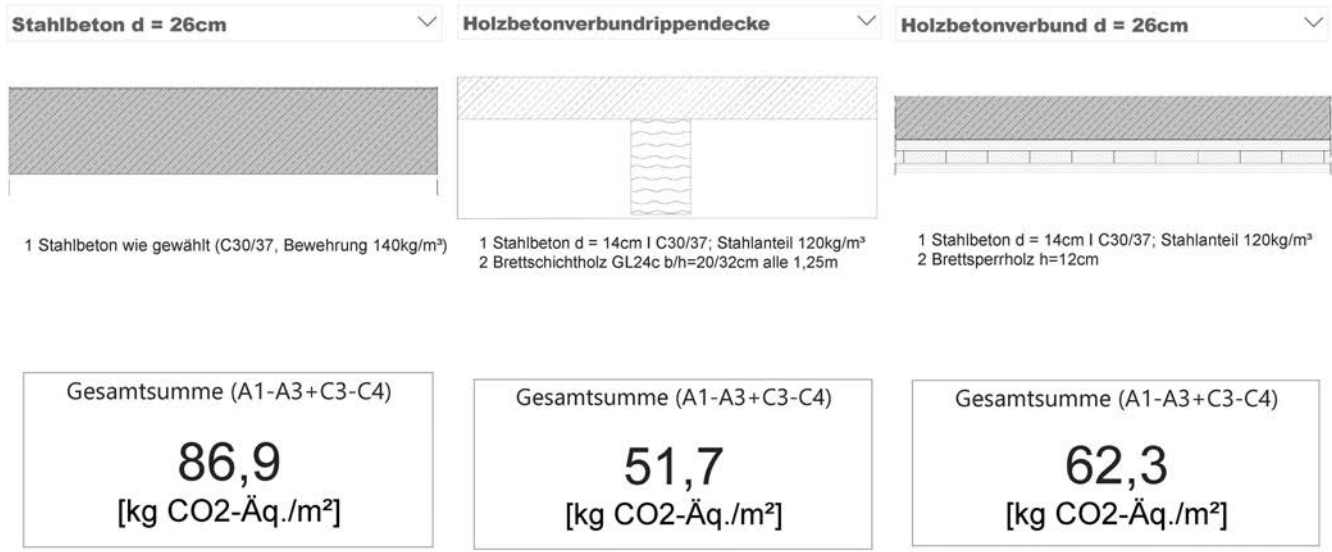
Bild 2 Beispielhafter Vergleich der weiterzuverfolgenden Varianten (Quelle: B+G)
Example comparison of variants

hen Leistungsphase der Vorentwurfsplanung erweist sich somit als effizient und für Tragwerksplaner:innen leicht umsetzbar. Die erste grafische Auswertung vergleicht die CO₂-Äq. verschiedener Deckensysteme (Bild 3).

Auf Grundlage dieser Ergebnisse lässt sich eine erste Bewertung der Deckenvarianten vornehmen. Dabei wird deutlich, dass die Holz-Beton-Verbund-Rippendecke die geringsten CO₂-Emissionen verursacht. Im Vergleich zur Stahlbetondecke können etwa 35 kg CO₂-Äq./m² eingespart werden. Neben den Deckenquerschnitten hat auch die Auflagersituation einen signifikanten Einfluss auf die Ökobilanz. Bei begrenzter Deckenaufbauhöhe kommen oft Stahlbetonverbundbalken bzw. Stahlbetonunterzüge zum Einsatz. Diese sind ggf. sehr energieintensiv in der Herstellung, was die CO₂-Äq. des Tragsystems signifikant erhöhen kann. Die grafische Darstellung in Bild 4 veranschaulicht diesen Aspekt.

Zusätzlich zum Deckenquerschnitt werden die Auflagerbalken in die Bilanzierung integriert. Verglichen wird eine Holz-Hybrid-Flachdecke, die deckengleich auf Stahlbetonverbundträgern lagert (alle 5 m), mit der Holz-Hybrid-Rippendecke, die auf Holzträgern (alle 5 m) lagert. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass der Einsatz deckengleicher Stahlprofile zur Auflagerung der HBV-Flachdecken ökologisch nachteilig ist. Falls eine große Anzahl an Stahlprofilen notwendig wird und die verfügbare Aufbauhöhe eine Flachdecke erfordert, sollte in Erwägung gezogen werden, stattdessen eine flache Stahlbetondecke mit Stützen zu realisieren. Diese frühen Überlegungen bieten bereits wertvolle Entscheidungshilfen für ein umweltfreundlicheres Tragwerksdesign.

In Leistungsphase 3 lassen sich die Berechnungen durch den fortlaufenden Planungsfortschritt weiter präzisieren. Das am Ende der Leistungsphase vorhandene 3D-Modell des Tragwerks ermöglicht eine schnelle Massenzusammenstellung. Bei dieser Bilanzierung können nun auch



LCA -Berechnung

● Summe von GWP A1-A3 ● Summe von GWP C3 ● Summe von GWP C4



Bild 3 Vergleich Decken CO₂-Äq./m²: Stahlbeton, Holzbetonverbund-Rippendecke, Holzbetonverbunddecke (Quelle: B+G)
Comparison of slabs CO₂e/m²: reinforced concrete, timber-concrete composite rib slab, timber-concrete composite slab

Stützen, Wände und Unterzüge ohne größeren Aufwand in die Bilanzierung inkludiert werden. Die Bewehrungsgehälter innerhalb der Ökobilanzierung werden auf Grundlage von Erfahrungswerten geschätzt und angesetzt.

Im folgenden Projektbeispiel wurden die Materialmengen aus einem Revit-Modell extrahiert und mit Rhino und Excel visualisiert, wobei sowohl das verbaute Materialvolumen als auch das Treibhausgaspotenzial/m² für die verschiedenen Bauteilgruppen dargestellt sind. Der Vergleich verdeutlicht das geringere Treibhausgaspotenzial

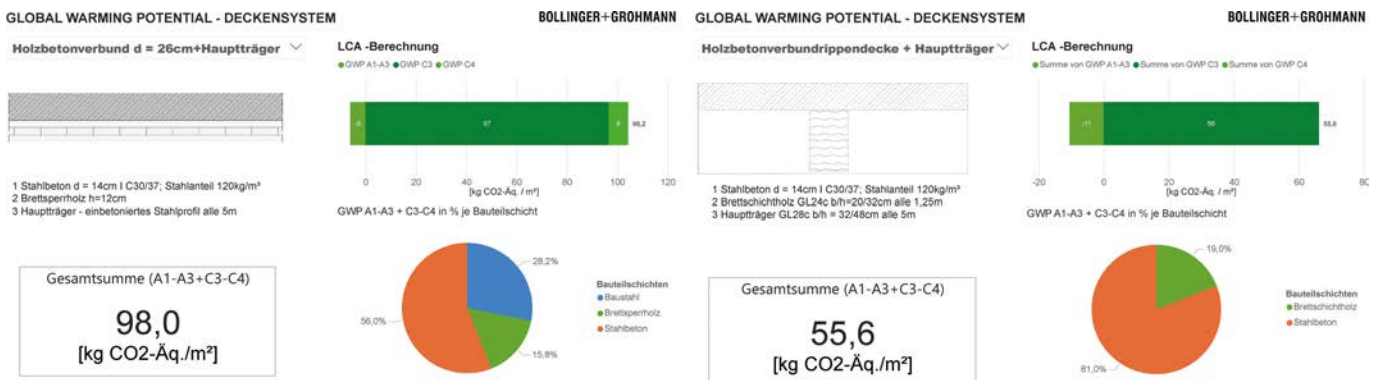
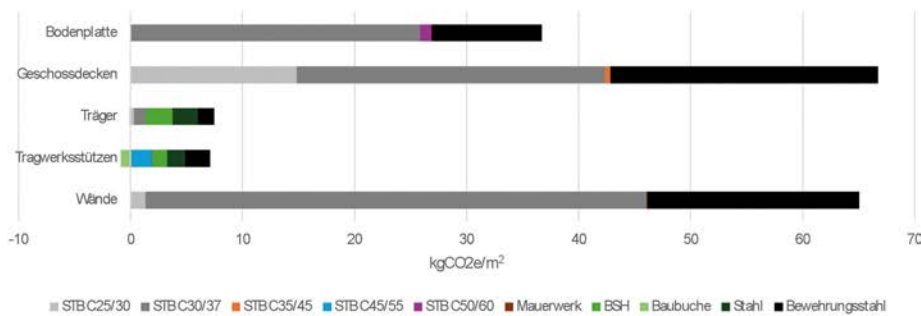
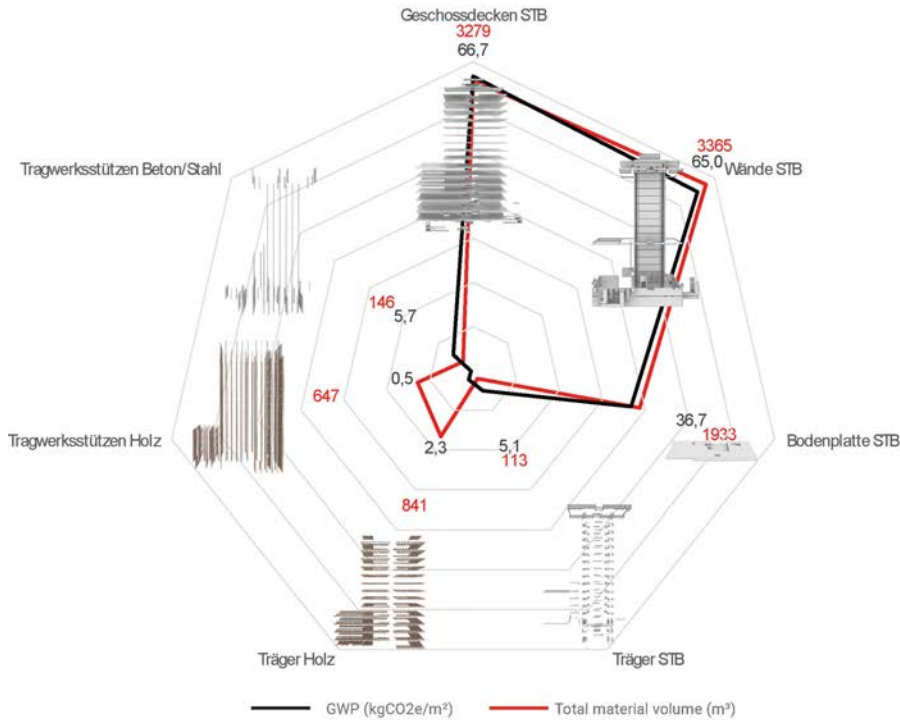


Bild 4 Hybrid-Decke mit Holzbalken als Hauptträger vs. Holz-Hybrid-Flachdecke mit Stahlträgern als Auflager (Quelle: B+G)
Hybrid slab with timber beams as primary beams vs. timber hybrid flat slab with steel beams as supports

HOLZ-HYBRID-HOCHHAUS

Total Embodied Carbon Rate GWP: **181,9 kgCO₂e/m²**
 Total Embodied Carbon GWP: 3.550.593 kgCO₂e
 Life Cycle Phases **A1-A3, C3, C4, D**
 GFA: 19.508,79 m²



06.08.2024 - Tizian Alkewitz

Bild 5 CO₂-Bilanzierung eines Holz-Hybrid-Hochhauses LP4 (Quelle: B+G Tizian Alkewitz)
 LCA of a timber hybrid high-rise building LP4

der Holzbauteile gegenüber den Stahlbetonbauteilen im Verhältnis zum verbauten Materialvolumen (Bild 5).

Zum Abschluss der Leistungsphasen 4–5 lässt sich ein vergleichsweise präziser Wert der erwarteten CO₂-Äq. ermitteln.

Zur Bewertung der Ökobilanzierungsergebnisse wurde ein Rating in der Fachzeitschrift The Structural Engineer vorgeschlagen. Dabei wird die ermittelte CO₂-Äq.-Masse durch die Bruttogeschossfläche geteilt. Mit einer GWP-Rate von etwa 182 kg CO₂-Äq./m² erreicht das Holz-Hybrid-Hochhaus in diesem System die Bewertung B (Bild 6). Hierbei ist zu beachten, dass das SCORS-Rating auf den Markt in Großbritannien zugeschnitten ist und

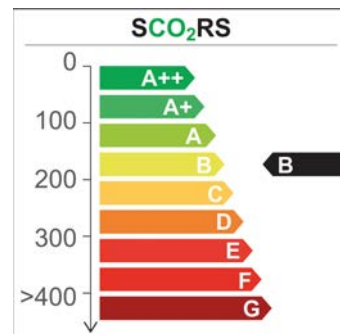


Bild 6 Einordnung der gesamten CO₂-Äq.-Menge [6]
 Structural carbon rating system [6]

B+G Project Carbon Database

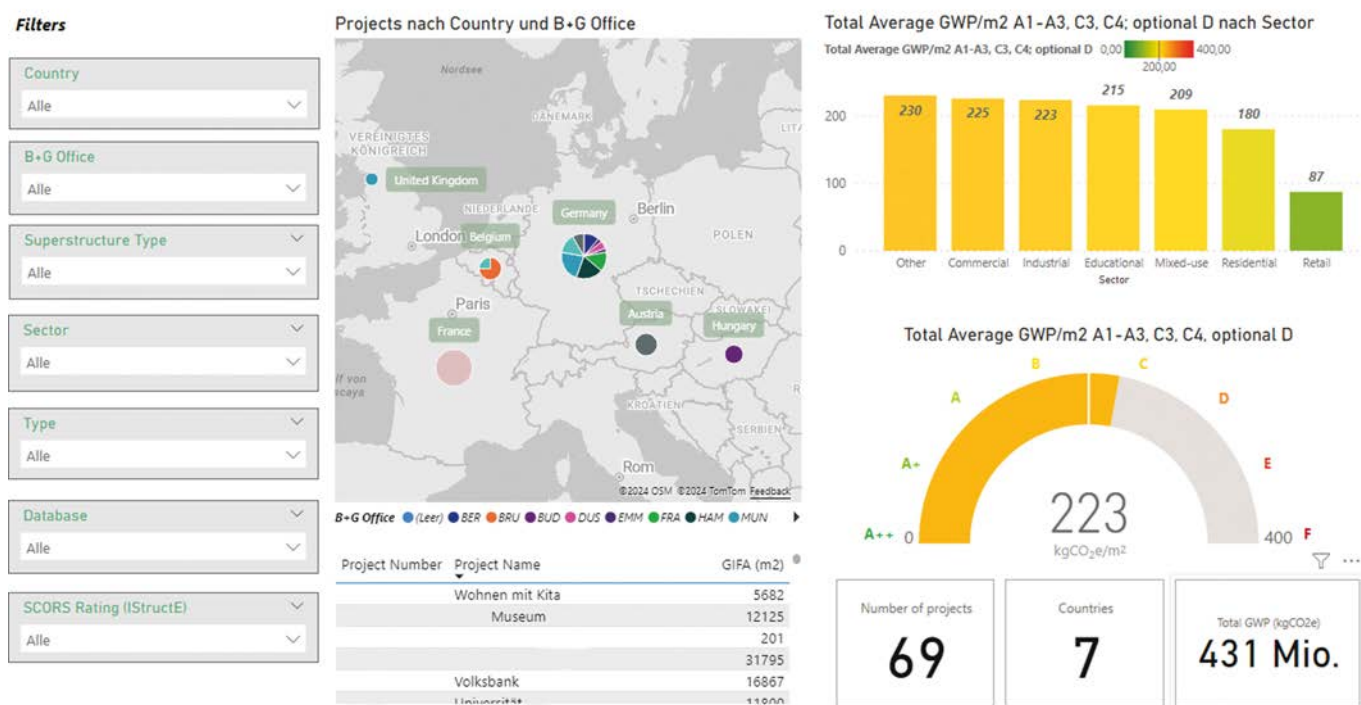


Bild 7 B+G LCA-Projekt Datenbank (Quelle: B+G)
B+G project carbon database

andere EPDs sowie Systemgrenzen zugrunde legen. Mangels eines entsprechenden deutschen Rankings liefert dies aber einen ersten Anhaltswert.

Die systematische Bilanzierung der Tragwerke in verschiedenen Projekten fördert ein vertieftes Verständnis für den Umwelteinfluss von Gebäudestrukturen und liefert frühzeitige Planungsstrategien zur Reduzierung von CO₂-Emissionen. Um die Emissionen einer Vielzahl von Projekten zu erfassen, werden diese in einer internen Datenbank gespeichert und nach Kriterien wie Nutzung, Lastannahmen und Spannweiten katalogisiert (Bild 7). Diese Datenbank ermöglicht es, für zukünftige Projekte mit ähnlichen Konstruktionsweisen Prognosen zur Umweltwirkung zu erstellen und Erkenntnisse bereits in frühen Planungsphasen einzubringen. Durch gezielte Maßnahmen und fundierte Entscheidungshilfen lassen sich signifikante Einsparungen erzielen, wodurch die Tragwerksplanung einen entscheidenden Beitrag zu nachhaltigeren Gebäuden leistet. Die aktuelle Projektanalyse zeigt allerdings auch, dass die derzeit diskutierten Grenzwerte meist nur knapp erreicht oder sogar überschritten werden. Eine weitergehende Reduktion erfordert daher ein grundlegendes Umdenken, etwa durch stärkeren Fokus auf das Bauen im Bestand. Mit der bisher weitverbreiteten Baupraxis wird eine umfassende Reduktion der Treibhausgasemissionen kaum zu erreichen sein.

3 Ökobilanzierung in der Fassadenplanung

Neben der Errichtung des Tragwerks entfällt ein beachtlicher Anteil der Emissionen auf die Herstellung und

Montage von Fassaden, die etwa 10–20 % des gesamten CO₂-Fußabdrucks eines Gebäudes ausmachen [7]. Aus diesem Grund ist es ratsam, bereits in frühen Planungsphasen die Umweltwirkungen einer geplanten Fassade mittels Ökobilanzierung zu bewerten.

Durch diese Herangehensweise kann frühzeitig eine fundierte Einschätzung über den zu erwartenden CO₂-Fußabdruck der Fassade getroffen werden. Anpassungen an Rasterung, Materialwahl und Aufbau ermöglichen es, die Auswirkungen auf die CO₂-Bilanz gezielt zu beeinflussen. So kann der CO₂-Verbrauch der Fassade nicht nur bewertet, sondern auch im Vergleich zu anderen Fassadenoptionen eingeordnet und als „gut“ oder „schlecht“ klassifiziert werden. Diese Transparenz liefert Bauherr:innen fundierte Informationen und hilft dabei, nachhaltige Entscheidungen zu treffen.

Es stellt sich die Frage, wie in frühen Planungsphasen bereits fundierte Aussagen zum Fußabdruck einer neuen Fassade getroffen werden können, wenn scheinbar keine Fassade der anderen gleicht und somit nicht auf eine einfache Schätzung zurückgegriffen werden kann. Die konkrete Herausforderung bei der Ökobilanzierung von Fassaden liegt in der Vielfalt der verwendeten Produkte und Materialien. Fassadenelemente bestehen aus zahlreichen Komponenten wie Aluminiumblechen, Stahlkonsolen, Dichtungen, Dämmstoffen und Sonnenschutzsystemen. Besonders anspruchsvoll ist die Bewertung der Fassadenfüllung Glas, die sich in Bezug auf Beschichtungen, Laminierungen, Gasfüllungen und andere Eigenschaften stark unterscheiden kann.

Lebenszyklus eines Gebäudes

nach DIN EN 15978 und DIN EN 15804

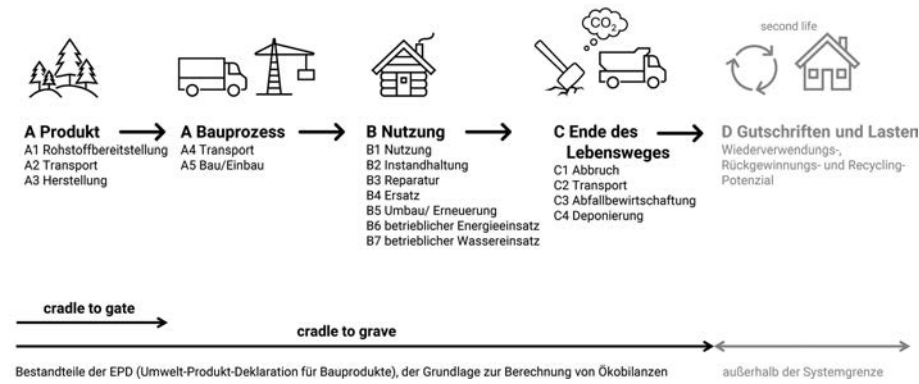


Bild 8 Lebenszyklus eines Gebäudes nach DIN EN 15978 und DIN EN 15804 [8]
Life cycle of a building acc. to DIN EN 15978 and DIN EN 15804 [8]

Um diese Komplexität zu bewältigen, wurde bürointern ein intuitiv nutzbares Modellierungs- und Berechnungstool entwickelt. Dieses Tool ermöglicht es, in frühen Planungsphasen repräsentative Ausschnitte des Fassadensystems oder eines Fassadentyps mittels Volumen- und Flächenelementen zu modellieren. Die geometrischen Abhängigkeiten der einzelnen Fassadenbestandteile wie Pfosten, Riegel, verglaste und opake Einsetzelemente werden durch die einfache Eingabe von Basisparametern wie Gesamtlänge und Gesamtbreite der äußeren Rahmenkonstruktion sowie spezifischer Variablen wie Glascheibenaufbau und Profilquerschnitte berücksichtigt.

Eine direkte Materialmengenermittlung, die Vorgabe oder Wahl von Transportprozessen, Entfernungen und

Energiemix zur Berücksichtigung der Transport- und Bauphase sowie die direkte Kopplung mit Umweltwirkungen in den unterschiedlichen Lebensphasen gemäß Bild 8 erlauben schließlich in Variantenstudien die Ermittlung von Einsparpotenzialen in Bezug auf Treibhausgas.

Grundlage für dieses Tool ist eine umfassende Datenbasis, die eine fundierte Bewertung der Materialien und Produkte ermöglicht. Eine wesentliche Rolle bei der Schaffung dieser Datenbasis spielen Umweltproduktdeklarationen (EPD), die jedoch nicht immer reibungslos eingesetzt werden können bzw. für einzelne Fassadenkomponenten nur sehr begrenzt verfügbar sind. Oft fehlen essenzielle Daten, wie etwa Angaben zu bauphysikali-

Bild 9 Benutzeroberfläche LCA-Fassaden-Tool – genereller Aufbau (Quelle: B+G)
User interface LCA façade tool – general structure

sehen Eigenschaften von Fenstern oder Skalierungsmöglichkeiten für nicht standardisierte Bauelemente. Um dieses Problem zu umgehen, haben die Verfasser:innen eine eigene Datenbank entwickelt, die es ermöglicht, alle verfügbaren und relevanten Komponenten einer Vorhangsfassade modellhaft abzubilden und mit Umweltdaten zu versehen (Bild 9).

Das Tool berücksichtigt den gesamten Lebenszyklus der Fassade, von der Herstellung über die Errichtung bis zur Entsorgung und das Recyclingpotenzial der modellierten Komponenten. Es ermöglicht zudem eine direkte statische Vordimensionierung, die dazu beiträgt, das Tragvermögen von Querschnitten auszureizen und durch das Einsparen von Material und Masse wiederum CO₂-Emissionen zu reduzieren.

Besonders wertvoll ist die Möglichkeit, die berechneten Elemente dynamisch zu visualisieren und den Umweltindikator CO₂-Äq. in Echtzeit zu kalkulieren. So lassen sich Änderungen am Aufbau der Fassade spielerisch hinsichtlich des Einsparpotenzials testen. Die Ergebnisse werden differenziert für die verschiedenen Fassadenkomponenten dargestellt, sodass gezielte Anpassungen vorgenommen werden können. Damit kann frühzeitig ermittelt werden, welche Konstruktionsvarianten besonders vielversprechend sind, um die Treibhausgasemissionen zu minimieren. Das Tool wird aktiv in Besprechungen genutzt, um Einsparpotenziale zu verdeutlichen und Planungsentscheidungen fundiert zu treffen.

Ein anschauliches Beispiel für die Effektivität dieser Methode ist das Projekt The Change in Eschborn. Durch eine experimentelle Windkanaluntersuchung konnte der Windlastansatz im Vergleich zur Norm reduziert werden, was zu einer Verringerung der Profiltiefen und einer entsprechenden Einsparung von etwa 90t CO₂ führte. Dies unterstreicht, welchen signifikanten Beitrag Planer:innen bei der Reduktion von Emissionen leisten können.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die genaue Planung und Dimensionierung von Fassaden – insbesondere im Hinblick auf statische Anforderungen und die Wahl der Materialien – eine entscheidende Rolle bei der Einsparung von Emissionen spielt.

Bei Fassadensystemen stellt sich über die bloße Ermittlung der gebundenen Emissionen hinaus eine entscheidende Frage: Wie beeinflussen Entwurfsentscheidungen in der Fassade die betrieblichen Emissionen von Gebäuden? Diese komplexe Thematik wird von aktuellen Planungsansätzen oft nicht ausreichend erfasst, da insbesondere in den frühen Planungsphasen eine präzise und umfassende Analyse sowie Lösung nicht möglich sind. Es ist zwar evident, dass Investitionen in gebundene Emissionen während der Herstellung von Fassadensystemen zu verbesserten Eigenschaften führen und somit potenziell die betrieblichen Emissionen in der Nutzungsphase reduzieren können – etwa durch spezielle Wärmeschutzverglasungen für den Winter oder Sonnenschutzsysteme für

den Sommer. Dennoch ist eine quantitative Bewertung der Auswirkungen verbesserter energetisch-thermischer Eigenschaften des Fassadenaufbaus auf die gesamten Lebenszyklusemissionen erst möglich, wenn die Anlagentechnik, die Nutzung des Gebäudes und die verwendeten Energieträger berücksichtigt werden.

Vor dem Hintergrund der Minimierung von Emissionen über den Lebenszyklus stellt sich daher die Frage: Wo liegt das Optimum, sprich der Minimalwert der Summe aus gebundenen und betrieblichen Emissionen über den Lebenszyklus der Fassaden? Ab welchem Zeitpunkt kann von einer Amortisation der höheren Herstellungsemissionen durch einen verbesserten Betrieb ausgegangen werden?

Zur Beantwortung dieser Fragen wird derzeit an der Integration einer dynamisch-thermischen Gebäudesimulation in das besprochene Modellierungstool gearbeitet. Hierbei wird ein parametrisch definierter Musterraum hinter dem repräsentativen Fassadenausschnitt unter Berücksichtigung wesentlicher Basisdaten wie Raumtiefe, Raumhöhe, Ausrichtung und Bauweise der raumschließenden Bauteile modelliert. Zudem soll eine vereinfachte Eingabe der haustechnischen Anlagenkomponenten ermöglicht und die angestrebte operative Raumtemperatur für ein angenehmes Raumklima berücksichtigt werden. Der Umfang der Simulation wird auf repräsentative Zeiträume in verschiedenen Jahreszeiten eingegrenzt, wobei zunächst die Entwurfsentscheidung im Vordergrund steht. Die exakte Bilanzierung wird im nächsten Schritt integriert. Hierbei könnten ähnliche Anforderungen an die Genauigkeit der Bilanzierung in frühen Leistungsphasen gestellt werden wie an Kostenermittlungen, die im Verlauf der Planung von Kostenschätzung über Kostenberechnung bis hin zum Kostenanschlag immer präziser werden.

Ein solches Vorgehen ermöglicht eine frühzeitige Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen den gebundenen Emissionen von der Herstellung bis zum Lebensende und der Weiterverwertung auf der einen Seite sowie den betrieblichen Emissionen durch thermische Konditionierung und Gebäudebetrieb während der Nutzungsphase auf der anderen Seite. Nur durch die gekoppelte Betrachtung dieser beiden Umweltwirkungen wird es künftig möglich sein, eine ganzheitliche Optimierung von Fassadensystemen zu erreichen. Besondere Aufmerksamkeit sollte dabei einer frühzeitigen und effizienten Einbindung eines solchen Werkzeugs in die frühen Entwurfsphasen gelten. Sein Einsatz in Verbindung mit einer umfassenden und stetig wachsenden Datenbasis erlaubt die Entwicklung nachhaltiger Fassadenlösungen, die sowohl ökologisch als auch ökonomisch überzeugen.

4 Fazit

Der vorliegende Beitrag verdeutlicht, wie Methoden der Ökobilanzierung gezielt in der Tragwerks- und Fassaden-

planung integriert werden können, um fundierte Entwurfsentscheidungen zu unterstützen. Durch die frühzeitige Integration von Ökobilanzanalysen in den Planungsprozess werden Entwürfe erleichtert, die maßgeblich zur Reduktion von CO₂-Emissionen beitragen. Das vorgestellte Projektbeispiel zeigt, dass diese Methoden für Bauvorhaben anwendbar sind und damit eine präzise CO₂-Bewertung ermöglichen. Mithilfe interner Tools und detaillierter Berechnungen werden Materialien und Konstruktionsweisen hinsichtlich ihrer ökologischen Auswirkungen bewertet und optimiert. Allerdings muss beachtet werden, dass diese Ökobilanzierung nur ein Teilbild der gesamten Umweltwirkung abbildet. Eine Konzentration auf die in der Herstellungsphase gebundenen Emissionen des Rohbaus und ggf. auf daraus resultierende Konsequenzen für den Innenausbau erscheinen für Tragwerksplaner:innen ausreichend. In der Fassadenplanung jedoch ist es offensichtlich, dass der Hebel von unterschiedlichen Varianten der Gebäudehülle mitunter erst unter Berücksichtigung der betrieblichen Emissionen bestimmt und bewertet werden kann. Der vorliegende

Bericht kann Planer:innen und Architekt:innen sensibilisieren und Wege aufzeigen, mit vertretbarem Aufwand in frühen Planungsphasen einen signifikanten Beitrag zum nachhaltigen Bauen zu leisten. Abschließend sei aber auch darauf hingewiesen, dass Planer:innen und Architekt:innen sich zwar intensiv mit ökologischen und nachhaltigen Lösungen auseinandersetzen und versuchen, diese in ihre Entwürfe zu integrieren. Allerdings haben sie oft nur begrenzten Einfluss auf die endgültige Entscheidung der Bauherr:innen. Wenn die vorgeschlagenen Lösungen als zu kostspielig wahrgenommen werden, erfolgt oft eine Konzentration auf wirtschaftliche Überlegungen, wie z. B. die absolute Höhe und die zeitgewichtete Rendite von projektbezogenen Investitionen. Dies bedeutet häufig, dass nachhaltige Ansätze nicht weiterverfolgt werden. Es ist eine Herausforderung, ein Gleichgewicht zwischen ökologischen Zielen und wirtschaftlichen Realitäten zu finden und es wird ggf. ein Umdenken der Baubranche und der öffentlichen Institutionen erfordern, um nachhaltige Praktiken und Bauweisen (auch finanziell) stärker zu fördern.

Literatur

- [1] Europäische Union (2024) *Richtlinie 2024/1275 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden*. 24. April 2024.
- [2] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (2024) *QNG-Anforderungen* [online]. Berlin: Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen. <https://www.qng.info/qng/qng-anforderungen> [Zugriff am: 25. Oktober 2024]
- [3] The Danish Social and Housing Authority (o.J.) *bygningsreglementet* [online]. Kopenhagen: The Danish Social and Housing Authority. <https://bygningsreglementet.dk/Tekniske-bestemmelser/11/Krav?Layout=ShowAll> [Zugriff am: 25. Oktober 2024]
- [4] DGNB (2018) *System Global Benchmark for Sustainability – Kriterienkatalog Gebäude Neubau*. Stuttgart.
- [5] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V. – DAfStb (2024) *Treibhausgasreduzierte Tragwerke aus Beton, Stahlbeton oder Spannbeton*. Berlin: DIN Media GmbH.
- [6] Arnold, W. et al. (2020) *Setting carbon targets: an introduction to the proposed SCORS rating scheme*. *The Structural Engineer* 98, No. 10, pp. 8–12. <https://doi.org/10.56330/SQDI8782> (IStructE: <https://www.istructe.org/IStructE/media/Public/TSE-Archive/2020/Setting-carbon-targets-an-introduction-to-the-proposed-SCORS-rating-scheme.pdf>)
- [7] Arup; Saint Gobain Glass (2022) *Carbon footprint of façades: significance of glass* [online]. London: Arup. <https://www.arup.com/insights/carbon-footprint-of-facades-significance-of-glass> [Zugriff am: 4. November 2024]
- [8] proHolz Austria [Hrsg.] (2017) *Zuschnitt 65: Kreislauf Holz*. Zeitschrift über Holz als Werkstoff und Werke in Holz 17, Nr. 65.

Autor:innen

Prof. Dr.-Ing. Daniel Pfanner
daniel.pfanner@fb1.fra-uas.de
Frankfurt University of Applied Sciences
Nibelungenplatz 1
60318 Frankfurt am Main

Angela Feldmann, M.Sc. (Korrespondenzautor:in)
afeldmann@bollinger-grohmann.de
B+G Ingenieure Bollinger und Grohmann GmbH
Nymphenburger Straße 34
80335 München

Karen Preuschoff, M.Sc.
kpreuschoff@bollinger-grohmann.de
B+G Ingenieure Bollinger und Grohmann GmbH
Westhafenplatz 1
60327 Frankfurt am Main

Marcel Reshamvala, M.Eng.
mreshamvala@bollinger-grohmann.de
Bollinger+Grohmann Consulting GmbH
Westhafenplatz 1
60327 Frankfurt am Main

Hanna Münch, B.Eng.
hmuench@bollinger-grohmann.de
B+G Ingenieure Bollinger und Grohmann GmbH
Nymphenburger Straße 34
80335 München

Zitieren Sie diesen Beitrag

Pfanner, D.; Feldmann, A.; Preuschoff, K.; Reshamvala, M.; Münch, H. (2025) *Ökobilanzierung in der Tragwerks- und Fassadenplanung*. *Bautechnik* 102, H. 1, S. 20–29. <https://doi.org/10.1002/bate.202400083>