



1. Warum müssen wir nachhaltig bauen?

1.1. Verantwortung des Bausektors

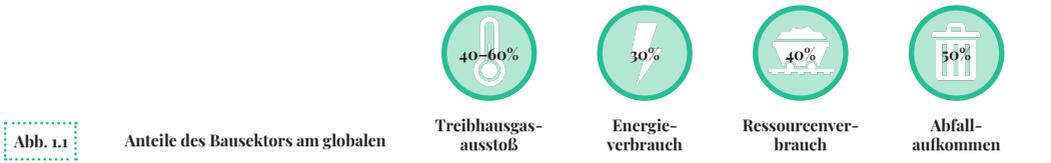


Abb. 1.1 Anteile des Bausektors am globalen

1.2. Hebel der Tragwerksplanung

Graue Emissionen

Von den Gesamtemissionen der Bau-
branche entfällt etwa ein Viertel auf
die grauen Emissionen des Tragwerks
– diesen Hebel müssen wir nutzen.
Reduzieren Tragwerksplaner:innen die
CO₂-Emissionen ihrer geplanten Trag-
konstruktionen um 20%, dann werden
pro Jahr und Planer:in bis zu 200.000 kg
CO₂ eingespart. Dies entspricht etwa 200
Hin- und Rückflügen zwischen London
und New York.

Verzicht auf einen Economy-
Flug von London nach New
York und zurück

spart 1 000 kg CO₂-Äq.

Abb. 1.2

Verzicht auf Fleisch, Milch-
produkte und Bier

spart 2 000 kg CO₂-Äq. pro Jahr und Planer:in

Verzicht auf Auto fahren

spart 3 000 kg CO₂-Äq. pro Jahr und Planer:in

Graue Emissionen des Trag-
werks um 20% reduzieren

spart 100 000 kg CO₂-Äq. pro Jahr und Planer:in

*»Europas Ingenieure erbringen ihr Werk in Verantwortung vor der Menschheit, der Umwelt und sich selbst.
Ihr Schaffen dient dem Wohl und der Fortentwicklung der Gesellschaft.«
—Dresdner Moralkodex für europäische Ingenieur:innen von 1998*

1.3. Konzepte für klimaeffektives Bauen

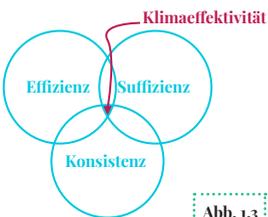


Abb. 1.3

Effizienz

Reduktion des Materialverbrauchs, Einsatz emissions-
armer Materialien

Suffizienz

Reduktion des Bedarfs (Neubau, Fläche, Material etc.)

Konsistenz

Verbrauch im Einklang mit planetaren Grenzen

Klimaeffektivität

Schnittmenge von Effizienz, Suffizienz und Konsistenz



Abb. 1.4

*Diese Entwurfstafel legt den Fokus auf die Quantifizierung und Reduzierung der Treibhausgasemissionen von
Tragwerken, indem die Methode der Ökobilanzierung für Tragwerksplaner:innen praxisnah erläutert wird.
Dies ersetzt keine ganzheitliche Nachhaltigkeitsbetrachtung von Bauwerken, die nur im interdisziplinären
Planungsprozess erreicht werden kann.*



Das ABC verfolgt das Ziel, alle Bauschaffenden für die Trans-
formation im Bauwesen zu mobilisieren. Diese Arbeitshilfe wird
kontinuierlich weiterentwickelt und erhebt keinen Anspruch
auf Vollständigkeit. Die aktuellste Version wird als Open-source
Dokument auf der Website (siehe QR-Code) zur Verfügung gestellt.
Dort sind auch alle verwendeten Quellen angegeben.



2. Ökobilanzierung

2.1. Begrifflichkeiten

Ökobilanzierung

(engl. Life Cycle Assessment = LCA)

Methode zur Erfassung der Umweltwirkungen eines Produktsystems, z. B. eines Gebäudes, Tragwerks oder Bauprodukts.

Umweltwirkungen

Wirkungen eines Produktsystems auf die Umwelt, die mittels Umweltindikatoren angegeben werden. Im Bauwesen werden in der Regel die Umweltindikatoren Treibhauspotenzial (GWP), Primärenergie – nicht erneuerbar ($PE_{n,e}$), Ozonabbaupotenzial (ODP), Bodennahes Ozonbildungspotenzial (POCP), Eutrophierungspotenzial (EP) und Versauerungspotenzial (AP) verwendet.

Graue Emissionen

GWP eines Bauwerks über den gesamten Lebenszyklus abzüglich der betriebsbedingten Treibhausgasmissionen (B6–B8).

Treibhauspotenzial

(engl. Global Warming Potential = GWP)

Umweltindikator zur Erfassung aller klimawirksamen Emissionen. Das GWP eines Produktsystems wird in eine CO_2 -Äquivalente Umweltwirkung umgerechnet und erhält daher die Einheit CO_2 -Äq.

Ökobaudat

Öffentliche Datenbank des Bundes mit geprüften Ökobilanzdaten-sätzen → oekobaudat.de

Funktionelle Einheit, funktionales Äquivalent

Festzulegende Bezugsgröße des Bauwerks zum Ökobilanzvergleich von Varianten, z. B. 1 m^2 Bruttogeschossfläche, 1 m^2 Brückenfläche oder 1 Person, die das Bauwerk nutzt.

2.2. Normen zur Nachhaltigkeit von Bauwerken

DIN EN 15643 Allgemeine Rahmenbedingungen zur Bewertung von Gebäuden und Ingenieurbauwerken

DIN EN 15978-1 Methodik zur Bewertung der Qualität von Gebäuden – Teil 1: Umweltqualität

DIN EN 15804 Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte

2.3. Lebenszyklusphasen

Treibhausgasemissionen entstehen über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks. Der Lebenszyklus von Bauwerken wird nach DIN EN 15643 in fünf Lebenszyklusphasen, bestehend aus einzelnen Modulen, eingeteilt.



Wiege bis Werkstoff

Wiege bis Bahre

Wiege bis Wiege

A1–A3

Enthält die Herstellung vom Rohstoffabbau bis zum fertigen Bauprodukt. In dieser Phase fallen für Bauprodukte in der Regel die höchsten Umweltwirkungen an.

A4

Enthält den Transport des Bauprodukts auf die Baustelle. Wenn Transportdistanz und Transportmittel bekannt sind, können die Auswirkungen dieses Moduls projektspezifisch berechnet werden.

A5

Enthält die Errichtung auf der Baustelle mit Angaben zu Verpackungen und Materialverlusten. Werte für dieses Modul liegen oft nicht vor, weshalb es in der Regel vernachlässigt wird.

B1–B7

Enthält die Auswirkungen in der Nutzungsphase eines Bauwerks. Für Bestandteile der Tragkonstruktion, welche in der Regel über die gesamte Nutzungsdauer eines Bauwerks nicht ausgetauscht werden, entstehen hier keine Auswirkungen. Besitzt ein Bauprodukt eine geringere Nutzungsdauer als das Bauwerk, entstehen im Modul B4 Umweltwirkungen für das Ersatzprodukt (A1–A5) und das ausgetauschte Produkt (C4–D).

C1–C4

Enthält das Lebenszyklusende eines Bauwerks. Vor allem bei der Abfallbehandlung (C3) können große Umweltwirkungen entstehen.

D

Können Komponenten wiederverwendet, recycelt oder zur Energiegewinnung genutzt werden, entstehen in Modul D Gutschriften für das Bauprodukt. Modul D liegt außerhalb der Systemgrenzen. Modul D muss daher getrennt von den anderen Lebenszyklusphasen angegeben werden.

2.4. Systemgrenzen

Nicht alle Umweltwirkungen eines Bauwerks können aufgrund der Datenverfügbarkeit in einer ausreichenden Genauigkeit quantifiziert werden. Um Ökobilanzergebnisse miteinander vergleichen zu können, müssen die Systemgrenzen definiert werden. Zeitliche

Systemgrenzen geben an, welche Lebenszyklusmodule bei der Ökobilanzierung eines Gebäudes berücksichtigt werden sollen. Unterschiedliche Bewertungssysteme wählen hier verschiedene Systemgrenzen:

	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	C1	C2	C3	C4	D
 DGNB	P	P	P						P		P					P	P	S
 BNB	P	P	P				P		P		P	P				P	P	S
 QNG	P	P	P						P		P					P	P	S
 BREEAM	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P		P	P	P	P	S
 LEED v4.1	P	P	P	P	O	P (min. 1)							P (min. 1)				S	
 IStructE	P	P	P	P	P													
 Level(s)	P	P	P						P	P	P							S
	P	P	P								P							S

* Zwei vereinfachte Berechnungsmethoden möglich

P	Pflichtangabe
S	Separat auszuweisen
O	Optionale Angabe

Abb. 2.2

2.5. Umweltproduktdeklaration

Umweltproduktdeklarationen (engl. Environmental Product Declaration = EPD) enthalten quantifizierte Umweltwirkungen für ein Produktsystem, z. B. ein Bauprodukt. EPDs müssen nach DIN EN 15804 erstellt werden.

EPDs werden aus realen Produktionsdaten oder Literaturquellen erstellt. Abhängig von der Datenerfassung unterscheidet man unterschiedliche Datensatztypen:

spezifisch	Herstellerspezifischer Datensatz für ein konkretes Produkt eines Werkes
durchschnitt	Durchschnittliche Datensätze von Industrieverbänden, mehreren Firmen, mehreren Werken oder mehreren Produkten
repräsentativ	Datensätze, die repräsentativ für ein Land / eine Region sind (z. B. Durchschnitt DE)
generisch	Datensätze, die auf Basis von Literatur und Expertenwissen modelliert werden. Diese enthalten in der Ökobaudat einen Sicherheitszuschlag von 20% aufgrund der fehlenden Realdaten.

Nach DIN EN 15804 gibt es unterschiedliche Möglichkeiten, welche Module in einer EPD enthalten sein müssen:

	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	C1	C2	C3	C4	D
Wiege bis Werkstor mit C1–C4+D	P	P	P											P	P	P	P	P
Wiege bis Werkstor mit Optionen C1–C4+D	P	P	P	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	P	P	P	P	P
Wiege bis Bahre	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Wiege bis Werkstor*	P	P	P															
Wiege bis Werkstor mit Optionen*	P	P	P	O	O									P				

* nur in Ausnahmefällen möglich

P	Pflichtangabe
O	Optionale Angabe

Wiege bis Werkstor →

← Wiege bis Bahre

← Wiege bis Wiege

Abb. 2.3

2.6. Vorgehen zur Bilanzierung der Gebäudekonstruktion (nur Tragwerk)

Schritte	Allgemeine Erklärung	Vorgehen für Tragwerksplaner:innen nach Empfehlung des ABC
Funktionales Äquivalent	Technische Eigenschaften, z. B. Quartier, Bürogebäude, Festlegung der Bezugsgrößen	Als Flächenbezugsgröße im Hochbau wird die BGF [m ²] nach DIN 276 empfohlen.
Betrachtungszeitraum	Erweiterung um zeitbezogene Eigenschaften des funktionalen Äquivalents (z. B. Lebensdauer, Austauschzyklen, Nutzung, End-of-Life)	Die Lebensdauer des Tragwerks entspricht in der Regel der Lebensdauer des Bauwerks. Die Lebensdauer eines Gebäudes variiert abhängig von der Nutzung des Gebäudes. Gewöhnliche Hochbauten (Wohnen, Büro): 50 Jahre Industriebauten: 25 Jahre Anmerkung: Viele Gebäude werden deutlich länger als 50 Jahre genutzt. Bei einer späteren Sanierung dürfen die konstruktionsbedingten Emissionen vernachlässigt werden.
Systemgrenzen	Festlegung der Lebenszyklusphasen z. B. Wiege bis Werktor (A1–A3)	Die Empfehlung richtet sich nach den Rechenregeln des QNGs für die konstruktionsbedingten Emissionen: 1. Errichtung und Rückbau: A1–A3 + C3 + C4 2. Vorteil und Belastungen außerhalb der Systemgrenze: D
Gebäudemodell	Mengenbilanz: Es werden alle im Gebäude verbauten Materialien und deren Mengen ermittelt	Die zu ermittelten Mengen werden auf die Bauteile des Tragwerks reduziert. Das Tragwerk wird wie folgt definiert: Wände, Stützen, Decken, Dach, Gründung; alle weiteren tragende Bauteile ohne nichttragende Schichten aus Anforderung der Bauphysik, des Brandschutzes oder des Raumabschlusses. Achtung: Bei Vergleichen unterschiedlicher Bauweisen kann das beschriebene Vorgehen zu Verzerrungen der Ergebnisse führen. Für Bauteilvergleiche wird empfohlen, alle Schichten, die zu äquivalenten Bauteileigenschaften führen, zu berücksichtigen.
Abbildungstiefe/ Abschneideregeln	Grundsätzlich sind alle im Gebäude verbauten Bauteile zu bilanzieren	Anteil Masse < 1% und Anteil GWP < 1% kann vernachlässigt werden. Die Summe der vernachlässigten Baumaterialien darf den Anteil 5% am Gebäude GWP betragen. Kleinstteile < 1 kg bei z. B. Schrauben können vernachlässigt werden. Hinweis: Auswirkungen durch Spezialbeschichtungen (z. B. OS- oder Brandschutzbeschichtungen) sowie flächig angeordnete Verbindungsmittel bei z. B. HBV-Decken können leicht unterschätzt werden.
Auswahl der Umweltindikatoren	Entscheidung, welche Umweltindikatoren in die Ökobilanz aufgenommen werden	Bei QNG werden Treibhauspotenzial (GWP) und nicht erneuerbare Primärenergie (PE _{net}) untersucht. Andere Effekte wie Ent sind auch wichtig, aber für eine Grundaussage nachrangig.
Auswahl der Umweltdaten	Umweltdaten werden den passenden EPDs entnommen	Die ÖKOBAUDAT bietet eine umfangreiche Datenbank für deutsche und europäische EPDs → oekobaudat.de Es sind unterschiedliche Datensatztypen verfügbar. Für Bauwerksvergleiche in frühen Planungsphasen sollten die Datensätze entsprechender folgender Reihenfolge verwendet werden: Durchschnitt > Repräsentativ > Generisch Spezifische Datensätze können nur verwendet werden, wenn das Produkt feststeht.
Berechnung der Umweltindikatoren	Indikator = Menge _{Material} × Umweltwirkung _{EPD}	Betrachtung des Treibhausgaspotentials GWP _{total} Beispiel (Beton ohne Bewehrung): GWP _{total} = 10 m ³ Beton × 286 kg CO ₂ -Äq./m ³ = 2860 kg CO ₂ -Äq.
Auswertung	Nachvollziehbare Dokumentation der Ökobilanz	Beispiel: <ul style="list-style-type: none"> • Funktionales Äquivalent: Bürogebäude 5000 m² BGF • Betrachtungsgegenstand: Tragwerk • Tragwerkspezifische Angaben: Hallentragwerk mit Fachwerkträger • Betrachtungszeitraum: 50 Jahre • Betrachtungsjahr: 2023 • Lebenszyklusphasen: A1–A3 + C3–C4, D • Umweltindikatoren: GWP • Bevorzugter Datensatztyp: Durchschnitt DE • GWP_{total} = 105 kg CO₂-Äq./m² BGF

Diese Entwurfstafeln verwenden die aktuell gültigen Datensätze der [DIN EN 15978 A2](https://www.din.de/DE/Standards/DIN-EN/DIN-EN-15978-2/DIN-EN-15978-2.html).

Durch die Mischung von Werten der älteren [DIN EN 15978 A1](https://www.din.de/DE/Standards/DIN-EN/DIN-EN-15978-1/DIN-EN-15978-1.html) können Fehlinterpretationen entstehen!

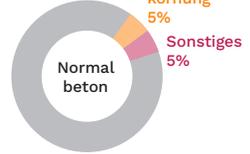
3. Materialspezifische Hinweise

3.1. Beton und Zement

Beton- und Zementherstellung

- Die CO₂-Emissionen in der Herstellungsphase des Betons (Module A1–A3) resultieren hauptsächlich aus der Zementherstellung. Höherfeste Betone erfordern einen höheren Zementgehalt, deswegen steigen die CO₂-Emissionen pro Betongüte ca. um 10%.
- Die prozessbedingten CO₂-Emissionen in der Zementproduktion entstehen bei der chemischen Entsäuerung zur Klinkerherstellung. Zusätzlich entstehen energiebedingte CO₂-Emissionen (v. a. Brennofen zzgl. Förderung, Verarbeitung, Transport). Der Klinkeranteil und somit die CO₂-Intensität von Zement können stark variieren (z. B. CEM I: 95% Klinker, CEM III/C: 5–19% Klinker).
- CO₂-Emissionen aus dem Einsatz von Abfällen als Brennstoff werden in Deutschland nach dem Verursacherprinzip in der Ökobilanz nicht direkt betrachtet, sondern gesondert angegeben.
- Werden Abfallprodukte anderer Industrien im Beton verwendet, z. B. Hüttensand oder Flugasche, so wird ihre CO₂-Bilanz mittels ökonomischer Allokation auf die beteiligten Akteure verteilt. Beton bekommt aufgrund des geringen Verkaufspreises i. d. R. einen geringen Anteil zugewiesen.
- Während der Nutzungsphase (Modul B1) nimmt Beton durch Carbonatisierung einen Teil des freigesetzten CO₂ wieder auf.
- Am Ende des Lebenszyklus (Modul D) wird von der Weiterverwertung als rezyklierte Gesteinskörnung ausgegangen und eine Gutschrift für eingesparte Energie gegenüber der Produktion neuer Gesteinskörnung vergeben.
- Bei Fertigteilen werden aktuell üblicherweise Betongütern > C30/37 und CEM I eingesetzt.

Hauptbestandteile der CO₂-Bilanz von Normalbeton und Portlandzement nach Herstellungsschritten



Zementherstellung 90%, davon:
2/3 prozessbedingt
1/3 energiebedingt

Abb. 3.1



Qualitative CO₂-Bilanz im Lebenszyklus von Normalbeton



GWP von Beton und Zement

Tab. 31: CO₂-Äq. Emissionen je 1 m³ unbewehrtem Konstruktionsbeton exkl. Abfallverbrennung in kg CO₂-Äq./m³

Datensatz Betonprodukt UID / Quelle	gültig bis	Datensatz-typ	GWP _{total} [kg CO ₂ -Äq./m ³]			
			A1–A3	C3–C4	A+C	D
Transportbeton C20/25 923e1c71-f172-4902-a5f5-c4a1e8a773bc	2024	generisch	201	14	215	-4
Transportbeton C25/30 d2ae1721-bb2a-4386-9d9f-abb1c774b0a8	2024	generisch	222	14	227	-4
Transportbeton C30/37 258b377e-ec3b-4e8c-b3fd-d4deb370f7d	2024	generisch	259	14	263	-4
Transportbeton C50/60 079ed601-8b92-49cd-9c09-ab8e06736cfc	2024	generisch	326	14	340	-4
Normalbeton C25/30 (CSC, CO ₂ -Modul, Branchenreferenzwert) siehe CSC Hintergrundbericht CO ₂ -Modul	-	-	237	-	-	-
Normalbeton C25/30 (CSC, CO ₂ -Modul, Level 1) siehe CSC Hintergrundbericht CO ₂ -Modul	-	-	166	-	-	-
Normalbeton C25/30 (CSC, CO ₂ -Modul, Level 2) siehe CSC Hintergrundbericht CO ₂ -Modul	-	-	142	-	-	-
Normalbeton C25/30 (CSC, CO ₂ -Modul, Level 3) siehe CSC Hintergrundbericht CO ₂ -Modul	-	-	119	-	-	-
Normalbeton C25/30 (CSC, CO ₂ -Modul, Level 4) siehe CSC Hintergrundbericht CO ₂ -Modul	-	-	95	-	-	-

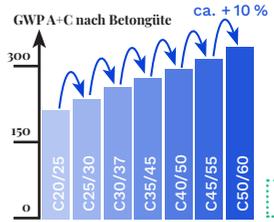


Abb. 3.3

Reduktion der CO₂-Emissionen aus der Betonherstellung gemäß CSC CO₂-Modul exemplarisch für einen Beton C25/30

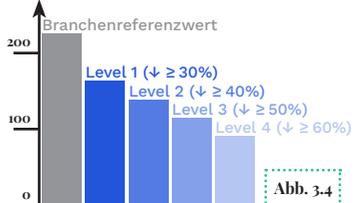


Abb. 3.4

Planerische Maßnahmen zum klimagerechten Bauen mit Beton und Zement

- **Material werkstoffsicher einsetzen/Materialeinsatz minimieren:** z. B. Deckendicken optimieren; nicht oder gering belastete Wände z. B. aus ungebrannten Lehmziegeln anstatt Beton errichten
- **Klinkerreduzierte Zemente und Betone CEM II/III** bevorzugen, CEM I vermeiden
 - CO₂-Ersparnis von > 50 % möglich
 - Weniger Rissbreitenbewehrung aus frühem Zwang erforderlich
 - Langsameres Erhärtungsverhalten in der Planung berücksichtigen (Ausschalfristen beachten)
 - Anwendungsbereiche für Zementart und Expositionsklasse nach Zement-Merkblatt (09/2017), Tab. 10 überprüfen
 - Ausschreibung nach Betoneigenschaften (z. B. CSC-Level), nicht nach Zementklassen
- **Geringere Betongüten einsetzen**, um Zementgehalt und CO₂-Emissionen zu reduzieren (E-Modul und Zugfestigkeit (Rissbreiten) steigen nicht proportional mit Druckfestigkeit)
- **Beton als Hochleistungswerkstoff** nur dort einsetzen, wo er wirklich erforderlich ist
- **RC-Beton:** Zusatzemissionen aus Transport/Verarbeitung gegen Ressourcenersparnis abwägen
- **Betonfertigteile:** Einsatz lösbarer Verbindungen für einfacheren Rückbau präferieren, Betongüte und CEM II/III reduziert ausschreiben

Materialeinsatz minimieren

Kreislauffähigkeit planen

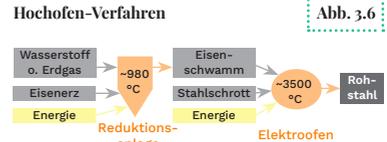
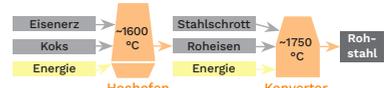
Material anwendungsbezogen wählen



3.2. Bau- und Bewehrungsstahl

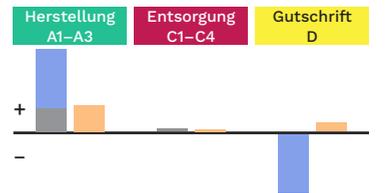
Stahlerstellung

- Die Emissionen von Stahl werden hauptsächlich über das Herstellverfahren bestimmt
- Baustahl wird in Deutschland primär über zwei Verfahrensrouten hergestellt:
 - 70 % Sekundärstahl durch Elektrolichtbogen-Verfahren aus Stahlschrott
 - 30 % Primärstahl durch Hochofen-Verfahren aus Eisenerz
 - <1% Primärstahl durch Direktreduktion mit Erdgas oder zukünftig Wasserstoff
- Für Primärstahl wird ein Stahlschrottanteil zum Kühlen eingesetzt
- Beim **Hochofen-Verfahren** (Primärstahl) entstehen ca. 1/3 der Emissionen prozessbedingt durch die Reduktion des Eisenerzes: $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \rightarrow 2\text{Fe} + 3\text{CO}_2$.
- Beim **Elektrolichtbogen-Verfahren** (Sekundärstahl) entstehen die Emissionen energiebedingt durch das Aufschmelzen des Stahlschrotts.
- Die Emissionen des Sekundärstahls sind fast ausschließlich energiebedingt und dementsprechend abhängig vom Strommix des Erzeugerlandes bzw. Stahlherstellers.
- Bei der **Direktreduktion mit Wasserstoff** (Primärstahl) wird Wasserstoff als Reduktionsmittel eingesetzt, wodurch die prozessbedingten Emissionen entfallen: $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2 \rightarrow 2\text{Fe} + 3\text{H}_2\text{O}$
- Die Emissionen für Wasserstoffstahl hängen maßgeblich von den Emissionen der Wasserstoffproduktion ab. Hierfür gibt es aktuell keine verlässlichen Daten.



Recyclingpotenzial von Stahl

- Stahl wird am Lebenszyklusende je nach Quelle zu 83–97% recycelt und zu 5–14% wiederverwendet. 1–3% gehen durch Sammelverluste verloren.
- Für Sekundärstahl wird eine geringe Menge mehr Schrott benötigt, als am Lebenszyklusende des Gebäudes wieder in den Kreislauf zurückgegeben wird, weshalb hier in Modul D (positive) Emissionen für den »verlorenen« Wertstoff angesetzt werden müssen.
- Primärstahl verursacht wesentlich höhere Emissionen als Sekundärstahl. Primärstahl erhält in Modul D eine hohe Gutschrift, da durch den am Lebensende des Gebäudes noch verfügbaren Stahlschrott im nächsten Lebenszyklus die Produktion von Primärstahl durch Sekundärstahl substituiert werden kann.



Primärstahl prozessbedingt energiebedingt
 Sekundärstahl energiebedingt

Qualitative CO₂-Emissionen im Lebenszyklus (Abb. 3.8)

Hochfester Stahl

Für hochfestere Stähle werden thermomechanische Verfahren und/oder Legierungselemente verwendet. Über die Emissionen dieser Verfahren gibt es keine verlässlichen Daten. Die EPD-Datensätze umfassen alle Stahlgüten als Durchschnittswerte.

GWP von Stahl

- In Deutschland werden Bleche hauptsächlich aus Primärstahl, Profile und Bewehrungsstahl hauptsächlich aus Sekundärstahl hergestellt.
- Da in der Ökobaudat-15804+A2 aktuell kein Durchschnittsdatsatz für Stahlprofile vorliegt, wird empfohlen die nach 15804+A2 erstellten Durchschnittsdatsätze von bauforumstahl e.V. zu verwenden, die voraussichtlich beim nächsten Ökobaudat-Update aufgenommen werden.

Tab. 3.2: CO₂-Äq. Emissionen von 1t verschiedener Stahlprodukte

Datensatz Stahlbauprodukt UUID / Quelle	gültig bis	Datensatztyp	GWP _{total} [kg CO ₂ -Äq./t]				Anwendung
			A1–A3	C3–C4	A+C	D	
Structural Steel: Sections and merchant bars EPD-BFS-20230271-IBG1-EN		Durchschnitt	560	0	560	210	Gewalzte Träger aus S235–S500
Structural Steel: Heavy Plates EPD-BFS-20230270-IBG1-EN		Durchschnitt	2530	0	2530	-1470	Bleche (z. B. Kopfplatten, geschweißte Träger etc.) 5–510 mm aus S235–S960
Stahl Feinblech (0,3–3,0mm) ba00565e-ae92-4b32-939e-60c67e503390	2024	generisch	245		245	-1494	Bleche 0,3–3 mm (alle Stahlgüten)
Bewehrungsstahl 8565038f-5c21-48d7-94cb-958498ba9dd3	2024	generisch	609		609	145	

Planerische Maßnahmen zum klimagerechten Bauen mit Stahl

→ Materialeinsatz minimieren

- Einsatz von hochfesten Stählen, wenn Materialeigenschaften ausgenutzt werden können (zum Beispiel als Fachwerkträger, Zugglieder).
- Wenn Durchbiegung maßgebend wird, bieten hochfeste Stähle keinen Vorteil

→ Kreislaufgerecht bauen

- Lösbare Verbindungen für eine zukünftige Wiederverwendung
- Standardisierte Bauteile und Verbindungen für eine höhere Wahrscheinlichkeit einer zukünftigen Nutzung
- Langfristiges Speichern der Abnahmeprüfzeugnisse für den nächsten Gebäudelebenszyklus

→ Auswahl der Stahlprodukte

- Aufgrund der Abhängigkeit der Emissionen vom Strommix sollten Stahlprodukte vorrangig aus Ländern bzw. von Herstellern mit einem hohen Anteil an erneuerbaren Energien bezogen werden. Dabei sollten ggf. die zusätzlichen Transportemissionen berücksichtigt werden.

Materialeinsatz minimieren

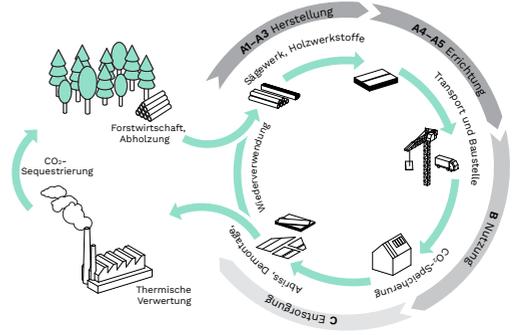
Kreislauffähigkeit planen

Sorgfältige Produktauswahl

3.3. Holz

CO₂-Ströme von Holz in der Ökobilanz

- Durch oxygene Photosynthese wird Kohlenstoff aus dem CO₂ in der Atmosphäre im Holz gebunden (= C-Sequestrierung). In der Ökobilanz entsteht durch dieses gespeicherte biogene CO₂ im Modul A1 der Herstellungsphase ein negatives GWP. Daher dient verbautes Holz als temporär zusätzlicher Kohlenstoffspeicher zum Wald.
- Im **Herstellungprozess** von Holzprodukten entstehen CO₂-Emissionen, z. B. bei der Trocknung von Holz (bei gasbetriebenen Trocknungsöfen) und durch Bereitstellung von Prozessenergie. Die fossilen Herstellungsemissionen variieren je nach Holzdicke, Holzprodukt, Verarbeitungsgrad (siehe Tab. 3.3). Auch bei Bau und Rückbau entstehen durch Transporte und Prozesse weitere fossile CO₂-Emissionen.
- Mit der **Entsorgung** des Holzproduktes in Phase C3 wird die Gutschrift des sequestrierten CO₂ wieder abgezogen. Als Summe über den Lebenszyklus ergibt sich damit ein positives GWP, das rein fossile CO₂-Emissionen berücksichtigt.
- Das anschließende **Verwertungsszenario** (oder End of Life Szenario = EoL) entscheidet darüber, ob das sequestrierte CO₂ tatsächlich frei wird – wie es beim heutigen Standardszenario der thermischen Verwertung der Fall ist – oder ob das CO₂ durch die Wiederverwendung oder stoffliche Wiederverwertung (z. B. Kaskadennutzung) der Holzprodukte über den Gebäudelebenszyklus hinaus gespeichert bleibt.

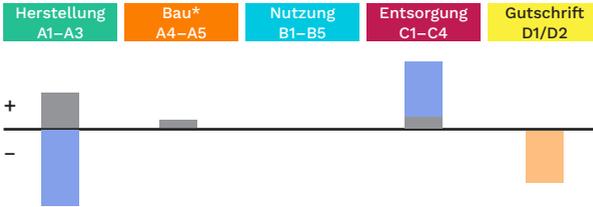


Lebenszyklus Holz als Kreislauf mit unterschiedlichen EoL-Szenarien

Abb. 3.9

Abb. 3.10

Qualitative Darstellung fossiler und biogener CO₂-Ströme im Lebenszyklus von Holz



* Es entstehen Emissionen bei Transport und Bau. Diese sind nicht in den Standarddatensätzen vorhanden und können projektspezifisch berechnet werden.

fossil
biogen
Gutschrift

GWP von Holz und Holzwerkstoffen

Tab. 3.3: CO₂-Äq.-Emissionen und CO₂-Sequestrierung von 1 m³ unterschiedlicher Holzbauprodukte

Datensatz Holzbauprodukt UUID / Quelle	gültig bis	Datensatz- typ	GWP _{total} [kg CO ₂ -Äq./m ³]				Sequestrierung	
			A1-A3	C3-C4	A+C	D _{energetisch}	D _{stofflich}	A1 GWP _{biogen}
Nadelschnittholz – getrocknet (Durchschnitt DE) 2bd4c91f-16e5-4e01-b8b5-0c01aac363ce	2028	repräsentativ	-741	803	62	-282	-13	-793
Laubschnittholz – getrocknet (Durchschnitt DE) e131431f-4d99-4d7a-ae0a-744a06de3524	2028	repräsentativ	-1136	1257	121	-452	-20	-1247
Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) 7aba3603-0689-4da5-8d24-fd92ae398d07	2028	repräsentativ	-727	816	89	-283	-13	-806
Brettspertholz (Durchschnitt DE) 8c4eb262-9ae6-4ace-8f3d-0b06f2007f3e	2028	repräsentativ	-670	799	129	-239	-11	-789
Brettschichtholz – Standardformen (Durchschnitt DE) c836b484-773f-4a07-9baa-c70da743ccea	2028	repräsentativ	-663	821	156	-220	-11	-811

1 m³ Vollholz aus Nadelholz hat im Baumwachstum ca. 800 kg CO₂ durch Photosynthese gespeichert

Abb. 3.11

Planerische Maßnahmen zum klimagerechten Bauen mit Holz

- **Materialeffizient und tragwerksoptimiert planen mit Holz**
 - Angemessene Spannweiten wählen
 - Geringer Verarbeitungsgrad von Holzprodukten bevorzugen
 - Anteil der Stahl-Verbindungsmitel der Konstruktion in Ökobilanz berücksichtigen
- **Entwerfen für eine Wiederverwendung** der Holzbauteile nach dem Lebenszyklusende, z. B. durch einfache reversible Knotenpunkte, demontierbare Verbindungen, Stapeln, etc.
- **Bauen mit dem Bestand** bevorzugen: Holz ist als leichter Baustoff für Aufstockungen gut geeignet
- **Lebensdauer** durch langlebige und dauerhafte Konstruktionen **verlängern** (konstruktiver Holzschutz)
- **Rohstoffherkunft** mitplanen
 - Nur durch nachhaltige Forstwirtschaft wird der Erhalt der Wälder und die Fähigkeit des Waldes als dauerhafte CO₂-Senke zu dienen sichergestellt
 - Holz aus nachhaltiger Forstwirtschaft ausschreiben. Die wichtigsten Zertifizierungen sind PEFC (Program for the Endorsement of Forest Certification) und FSC (Forest Stewardship Council)
 - lokales Holz einsetzen: Reduktion von Emissionen durch kurze Transportwege. Regionale Hersteller können über → holz-von-hier.eu gefunden werden

Materialeinsatz minimieren

Kreislauffähigkeit planen

Holz aus zertifizierter nachhaltiger Forstwirtschaft

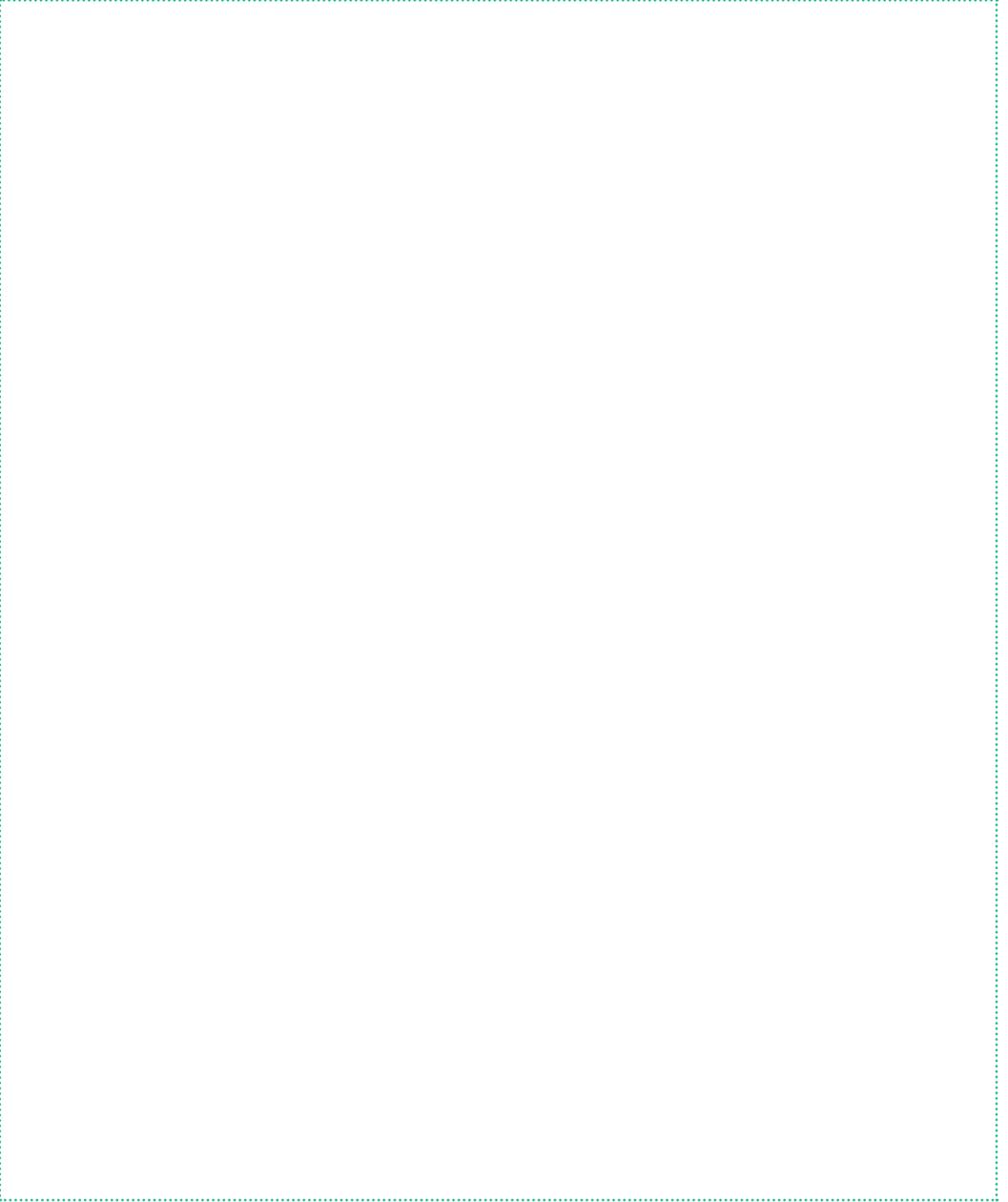


3.4. Weitere Bauprodukte

Hier werden in den nächsten Ausgaben weitere Baumaterialien und Bauprodukte ergänzt, wie zum Beispiel Mauerwerk, Lehm, Naturstein, Bambus, andere Metalle als Stahl, Faserverstärkte Kunststoffe oder auch nichttragende Bauprodukte.

Wir freuen uns auch sehr über Eure Unterstützung!

4. Notizen



5. Tragsysteme

5.1. GWP eines Tragwerks am Beispiel eines Bürogebäudes

Abb. 5.1

Optimierungsmöglichkeiten

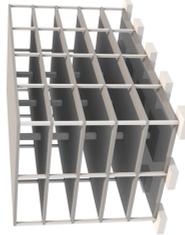
von Tragwerken in Betonbauweise hinsichtlich der grauen Emissionen

Optimierungsmöglichkeiten

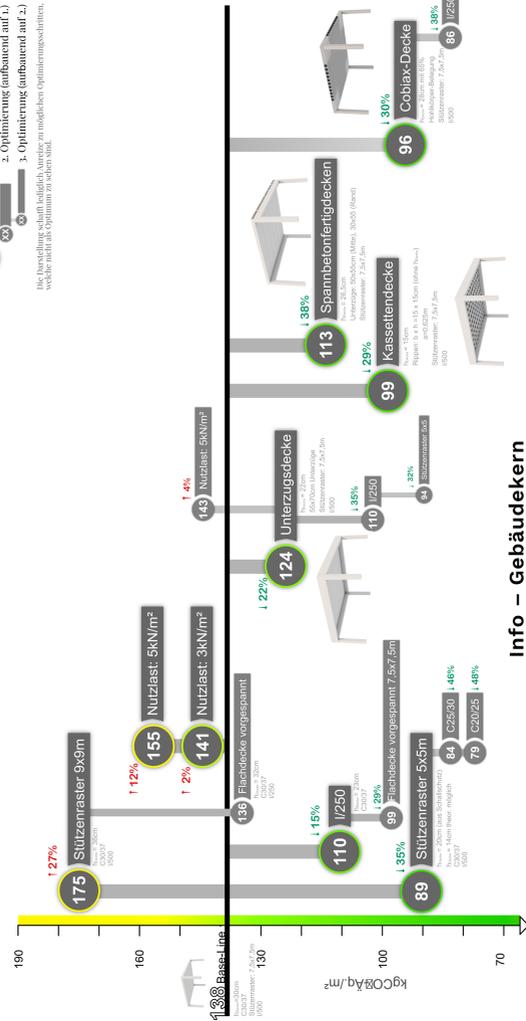
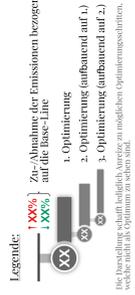
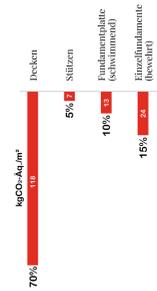
Grundlagen	Standard-Bürogebäude (ohne EG) Grundfläche: 15 m x 30 m Regelgeschosse: Stützenraster: 2,2m Nur tragende Bauteile = Ermittlung Gebäudekern nicht in Ökobilanz berücksichtig!
Belastung	Ökobilanz: Ausschließl. GWP Module: A1-A3, C3-C4 Daten: ÖKOBAUDAT Tragwerksanleihe: Sohlpressung: Eigengewicht: 2,0 kN/m ² Bodenauflage: 0,8 kN/m ² Trennschicht: 250 kN/m ² Sohlpressung: 250 kN/m ²

Base-Line

Konstruktionsdetails:	Deckenauflage: 30 cm Stützenquerschnitte: 60/60 cm (Mitte) 30/30 cm (Rand) C30/37 Beton (C30/37 Beton für Gründungsbauwerke) Bewehrungsstruktur: L 900
------------------------------	--



Treibhausgas-Emissionen je Bauteil



Info – Gebäudekern



Quelle: Abschlussarbeiten Simeon Werner und Jakob Fluck bei der Hochschule Karlsruhe in Zusammenarbeit mit der Ingenieurgruppe Bauen

5.2. GWP von gängigen Deckensystemen

CO₂-optimierte Bemessung

Bemessungsannahmen
 Ausbaulast: 1,5 kN/m²
 Nutzlast: 3,0 kN/m²
 System: 2-Feldträger



Abb. 5.2

Holz-Beton-Verbunddecke (HBV)

5 kg/m² konst. Bewehrung
 GZG: w < L/300 bzw. w < L/200
 Verbund über Kerfen

Brettsperrholzdecke (BSP/CLT)

GZG: w < L/300
 Schwingungsnachweis erfüllt
 mit > 8 Hz bzw. < 0,05 m/s²

Stahlbetondecke (StB)

GZG: w_{Punkt A} < L/250 bzw. w_{Punkt B} < L/500
 Rissbreite max. 0,4 mm

Tab. 51: Global Warming Potential (GWP) für verschiedene Deckensysteme

Länge L [m]	Holz-Beton-Verbunddecke (HBV) ¹				Brettsperrholzdecke (BSP)			Stahlbetondecke (w < L/250)			Stahlbetondecke (w < L/500)		
	Beton	Höhe [cm]	Holz	Höhe [cm]	Lagen	Höhe [cm]	GWP ³	Beton	Höhe [cm]	GWP ³	Beton	Höhe [cm]	GWP ³
4	C20/25	6	BSPH C24	10	3s: 4-4-4	12	17	C16/20	14	35	C16/20	16	39
6	C20/25	6	BSPH C24	18	5s: 6-4-4-4-6	24	33	C16/20	24	56	C16/20	28	64
8	C20/25	6	BSPH C24	26	5s: 8-3-8-3-8	30	41	C16/20	32	77	C16/20	36	85
10	C20/25	6	BSPH C24	32	5s: 8-6-8-6-8	36	49	C16/20	44	102	C16/20	58	129
12	C20/25	8	BSPH C24	38	*	*	*	C16/20	52	122	C20/25	70	171

Faustformeln

Näherungsweise Berechnung der Ökobilanz einer Decke

$$GWP_{HBV}^3 = h_{BSP} [cm] \times 1,345 + 3,4 + h_{Beton} [cm] \times \ddot{o}$$

$$GWP_{BSP}^3 = h [cm] \times 1,345$$

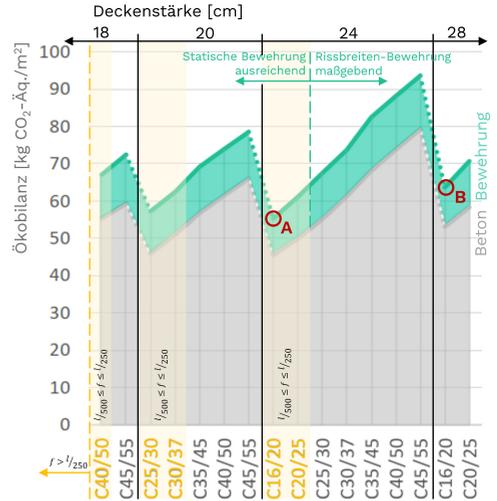
$$GWP_{Beton}^3 = m_{Stahl} [kg/m^2] \times 0,683 + h [cm] \times \ddot{o}$$

Einheit GWP: kg CO₂-Äq/m²

(Bewertungssystem: QNG; EPD nach ÖKOBAUDAT 2022)

$$m_{Stahl} [kg/m^2] = \text{Spannweite [m]} \times 3,2 - 0,8$$

$$\ddot{o} = \begin{cases} 1,9 & \text{für C16/20} \\ 2,1 & \text{für C20/25} \\ 2,3 & \text{für C25/30} \\ 2,6 & \text{für C30/37} \\ 2,9 & \text{für C35/45} \\ 3,1 & \text{für C40/50} \\ 3,3 & \text{für C45/55} \end{cases}$$



Ökobilanz für einachsige, 6m spannende Betondecke

Abb. 5.3

Optimierungsgrundsätze

Grundsätze zur Verbesserung der Ökobilanz einer Decke

- Möglichst geringe Betongüte wählen (für Expositionsklasse XC1 ist C16/20 zulässig)
- Möglichst hohe Durchbiegung zulassen (L/250)
- Möglichst geringe Spannweiten planen
- Auf Mindestrissbreitenbewehrung verzichten (Abstimmung Bauherr:in)

- 1 Bei BSPH-Decke: Ausbaulast = 3,0 kN/m² (Schüttung für erf. Schwingungseigenschaften).
- 2 Statisches System: Einfeldträger (Zweifeldträger normativ nicht zulässig).
- 3 Einheit: kg CO₂-Äq/m²
- 4 Nicht möglich mit bestehenden Randbedingungen und gängigen Holzprodukten.

6. Checkliste Tragwerksentwurf

6.1. Globale Entwurfsparameter (integral, frühe Planungsphase, Entwurf)

Projektgrundlagen

- Umnutzung: Kann das Gebäude saniert oder umgenutzt werden?
- Nutzung: Können Nutzungen im Grundriss sinnvoll angeordnet werden?
- Untergeschoss: Kann auf das Untergeschoss ganz oder teilweise verzichtet werden (Technikgeschoss, Alternatives Mobilitätskonzept)? Kritisches Hinterfragen der Notwendigkeit von WU-Anforderungen
- Lastannahmen: Kritisches Hinterfragen von Lastannahmen vs. Flexibilität?
- Gebrauchstauglichkeit: Wurden Gebrauchstauglichkeitsanforderungen kritisch hinterfragt, wenn diese maßgebend für die Bauteildimensionen sind (z. B. Verformungsgrenzwerte lockern)?
- Gutachten: Wurden Angaben im Baugrundgutachten und Brandschutzkonzept kritisch hinterfragt und ggf. optimiert?

Material

- Materialgerechtes Bauen: Können wir Baustoffe nach ihren materialspezifischen Stärken sinnvoll einsetzen?
- Emissionsarme Baustoffe: Funktioniert der Entwurf für emissionsarme Baustoffe (z. B. Holz / Lehm...)?
- Leichtbau: Kann das Konstruktionsgewicht reduziert werden und so die Gründung optimiert werden?
- Kreislauf und Demontierbarkeit: Können Bereiche, Bauteile oder Baustoffe aus dem Bestand neu genutzt werden? Sind Bauteile demontierbar und ist der Entwurf kreislaufgerecht konstruiert?
- Ökobilanzierung: Wird die Ökobilanzierung entwerfsbegleitend und -optimierend genutzt?

Statisches System

- Lastabtrag: Gibt es einen durchgängigen vertikalen und horizontalen Lastabtrag?
- Tragaster: Können Stützenraster und Spannweiten reduziert werden?
- Gründung: Kann die Gründung optimiert werden (z. B. Flachgründung vs. Tiefgründung / Bodenplatte vs. Einzel- und Streifenfundamente)?
- Statische Höhen: Können statische Höhen für effiziente Deckensysteme früh im Entwurf vorgesehen werden (z. B. Rippendecke vs. Flachdecke)? Können Rippenzwischenräume genutzt werden (z. B. für TGA)?
- Spannweitengerechte Tragsysteme: Können für große Spannweiten effiziente Systeme eingesetzt werden (z. B. Fachwerkträger)?
- Flexibilität: Kann das Tragwerk für spätere Flexibilität ausgelegt werden (z. B. tragender Skelettbau und nichttragende Wände aus emissionsarmen Baustoffen)?
- Statisch unbestimmte Systeme: Können durch statisch unbestimmte Systeme Bauteildimensionen reduziert werden (z. B. Durchlaufträger vs. Einfeldträger)?

6.2. Lokale Entwurfsparameter (tragwerksspezifisch, spätere Planungsphase)

- Bauteildimensionen: Können in der Genehmigungsstatik noch Bauteildimensionen reduziert werden?
- Ausnutzung: Können Ausnutzungen abgewogen und Bemessungstypen sinnvoll gestaffelt werden?
- Gebrauchstauglichkeit: Kann die Gebrauchstauglichkeit mittels realitätsnaher Modellbildung rechnerisch optimiert werden (z. B. Ansatz von Teileinspannung / zusätzliche Steifigkeiten)?
- Materialgüten: Erfolgte eine bewusste Wahl von Materialgüten und ein Variantenvergleich mittels Ökobilanzierung?
- Vorspannung: Kann das Verformungsverhalten mittels Vorspannung verbessert werden?
- Grundbewehrung: Können Rissbreitenanforderungen für Stahlbetonbauteile reduziert werden und so flächige Grundbewehrung eingespart werden?
- Ausschreibung: Wurden Hinweise auf emissionsarme Baustoffe (z. B. CO₂-reduzierter Beton nach Eigenschaften) gegeben?
-

Das Tragwerk bietet enormes Optimierungspotenzial bezüglich der CO₂-Emissionen. Um dieses auszuschöpfen, sind die sinnvolle Festlegung der Projektgrundlagen, die Wahl eines effizienten statischen Systems und der größtmögliche Einsatz von emissionsarmen Materialien wichtig. Globale Entwurfsparameter sind in frühen Projektphasen integral im gesamten Planungsteam abzustimmen und bieten das größte Potenzial. Lokale Entwurfsparameter können in späteren Planungsphasen tragwerksspezifisch optimiert werden.

7. Argumente für Bauherr:innen

Projekterfolgskriterien oder Ziele von Bauherr:innen sind die drei Dimensionen **Qualität, Zeit und Kosten**. In einer ganzheitlichen Betrachtung wird noch eine vierte Dimension, z.B. in Form von gesellschaftlicher oder ökologischer **Wirkung** ergänzt. In jeder dieser Kategorien gibt es Argumente, um Bauherr:innen von einer nachhaltigen und ressourcenschonenden Bauweise zu überzeugen.

Kosten

- Materialeinsparungen haben positiven Effekt auf Kosten und auf Einsparung von grauen Emissionen
- Fördermöglichkeiten durch Bund und Länder, EU-Taxonomie
- Langfristige Wertsteigerung durch erhöhte Nachfrage nach nachhaltigen Immobilien
- Potenzielle CO₂-Steuer absehbar
- Bei früher Einbeziehung in Planung nur geringe Mehrkosten oder kostenneutral
- Potenzielles Materiallager, das bei kreislauffähiger Konstruktion zukünftig ein Investment darstellt

Zeit

- Mehr Zeitinvestment in frühe Planungsphasen lohnt sich
- Bei bestimmten Bauweisen z. B. vorgefertigter Holzbau beschleunigte Bauzeiten möglich

Qualität

- Vorteile bei Zertifizierungen z. B. QNG und somit höhere Qualität z. B. für Vermietung
- Durch geschickte Planung keine Einschränkungen in Qualität z. B. kleinere Stützenraster
- Bessere Planung durch erhöhte Identifikation im Planungsteam

Wirkung

- Beitrag zum Klimaschutz und zur Nachhaltigkeitsstrategie
- Höhere Identifikation der Nutzer:innen
- Vorbild- und Vorreiterfunktion
- Motivation und Identifikation im Planungsteam

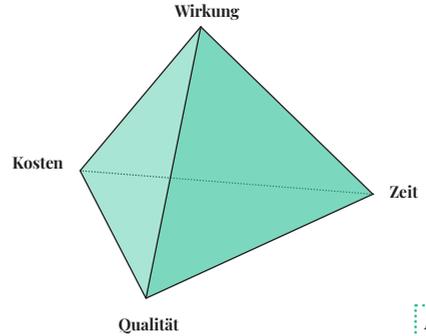


Abb. 7.1

Bauherr:innen haben großen Handlungsspielraum für Entwurfsentscheidungen durch bewusste Wahl der entsprechenden Zielvorgaben. Werden nachhaltige Zielvorgaben **früh im Projekt** definiert, kann der Entwurf gut in Einklang mit den Zielen gebracht werden.

8. Einfluss früher Planungsphasen auf die Reduktion der Grauen Emissionen

Die folgende Grafik zeigt auf, wie wichtig frühes nachhaltiges Handeln in Projekten ist. Die Planungsphasen und Leistungsphasen

nach HOAI sind als Anhaltspunkte zu verstehen, der genaue Ablauf ist projektspezifisch, z. B. wenn eine GU-Vergabe durchgeführt wird.

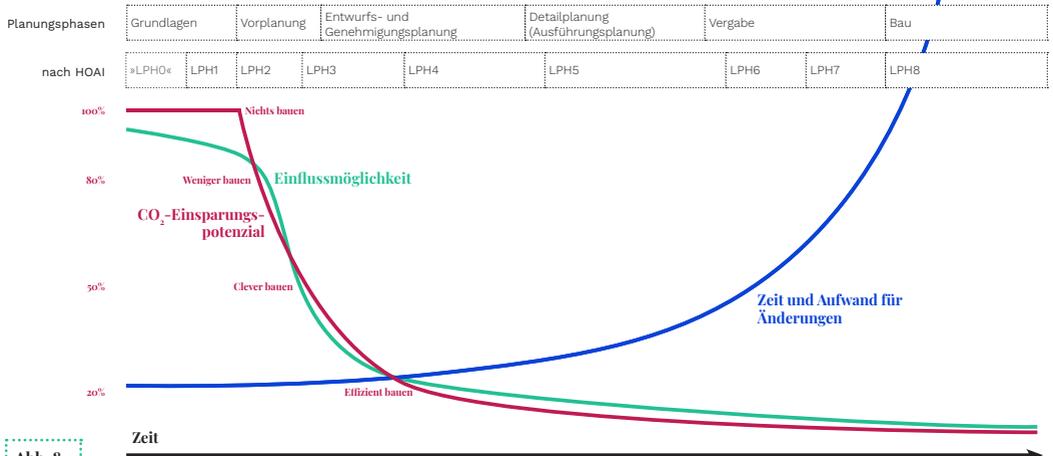


Abb. 8.1

Basierend auf DGNB und IStructE

Um nachhaltige Projekte zu planen und zu bauen, müssen sich Tragwerksplanende verstärkt in der »Leistungsphase 0« einbringen. Im Tragwerk steckt großes Potenzial, welches nur durch frühe Einbindung der Fachplaner:innen ausgeschöpft werden kann. Je später im Projektverlauf über nachhaltige Lösungen nachgedacht wird, desto unwahrscheinlicher, teurer und komplizierter ist ihre Umsetzung.