

Nachhaltig bauen mit Beton – Planungshilfe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb)

1 Allgemeines

Zunehmende Rohstoffknappheit, begrenzter Deponieraum und das Erfordernis zur Reduktion von CO₂-Emissionen sind die globalen Vorgaben, die von nachhaltigen Gebäuden u. a. einen geringen Verbrauch von Rohstoffen und Energie ebenso wie eine größtmögliche Nutzungsflexibilität und Wiederverwendbarkeit oder Dauerhaftigkeit der Funktion im Bauwerk fordern. Sie müssen ökologischen, ökonomischen und sozio-kulturellen Ansprüchen gerecht werden, gleichzeitig eine hohe technische Qualität bieten sowie auf die Prozesse des Bauwesens abgestimmt sein. Weiterhin sollen die Gebäude für den Nutzer behaglich sein und dürfen dessen Gesundheit nicht beeinträchtigen. Das spezifische Anforderungsprofil des Bauherrn legt deshalb fest, mit welchen Schwerpunkten die zahlreichen Kriterien der Nachhaltigkeit, wie sie z. B. im Zertifizierungssystem des Bundesbauministeriums [1] verankert sind, gegeneinander abgewogen werden sollen. Alle Maßnahmen dieser Planungshilfe richten sich an folgenden wesentlichen Zielen der Nachhaltigkeit aus:

- eine unverzügliche und drastische Reduzierung der CO₂-Emissionen als Maßnahme zum Klimaschutz,
- Vorsorge leisten für die bereits vorhandenen Folgen des Klimawandels,
- Ressourcenschonung und Materialoptimierung.

Bei der Abwägung, ein Bauwerk zu erhalten oder es zurückzubauen, ist im Sinne der Nachhaltigkeit immer zunächst der erhaltende Ansatz zu verfolgen und die Lebensdauer durch entsprechende Instandhaltung zu verlängern.

Da der Wert eines Gebäudes im Sinne der Nachhaltigkeit nicht nur von dessen Herstellkosten, der geplanten Nutzungsdauer und vom reinen Grundstückswert abhängt, gilt es eine Vielzahl von Kriterien zu prüfen und in die Planung, Errichtung oder Instandhaltung des Gebäudes einfließen zu lassen. Hieraus ergeben sich eine sinnvolle Standortplanung, eine ästhetische Architektur, eine optimierte Tragwerksplanung, eine effiziente Gebäudetechnik, eine geeignete Materialauswahl und ein sinnvoller Umsetzungsprozess.

Die folgenden Planungshinweise des DAfStb für Bauwerke des üblichen Hochbaus (Wohnungsbauten, Verwaltungsgebäude, Veranstaltungsbauten, Einkaufszentren, Industriehallen etc.) dienen Investoren, Bauherren, Planenden, Ausführenden und Vertretern der Bauaufsicht für Entscheidungsprozesse beim nachhaltigen Bauen mit Beton. Sie werden als Vorbereitung einer möglichen Nachhaltigkeitszertifizierung verstanden und zeigen auf, wie mit dem bereits vorhandenen Regelwerk im Betonbau nachhaltig geplant und gebaut werden kann. Grundlagendokumente für diese Planungshilfe waren [2], [3], [4] und für den Abschnitt 3.3 zusätzlich [5].

2 Hinweise für die Planung

2.1 Allgemeine Planungsgrundsätze

Nachhaltiges Bauen erfordert die partnerschaftliche Zusammenarbeit aller am Bau Beteiligten. Grundlagen sind

- die rechtzeitige Festlegung der wesentlichen Ziele,
- eine ganzheitliche Planung über den gesamten voraussehbaren Lebenszyklus sowie
- ein effizientes Qualitätsmanagement mit Festlegung von Aufgaben, Verantwortlichkeiten und Kommunikationsprozessen.

Architekt, Bauphysiker, Tragwerksplaner und Haustechniker entwickeln zusammen mit dem Bauherrn ein ganzheitliches Gebäudekonzept, das neben den aktuellen Nutzungsanforderungen und objektspezifischen Umwelteinwirkungen bereits mögliche zukünftige Nutzungsänderungen realistisch einschätzen sollte. Grundsätzlich sind besonders die **Wechselwirkungen** zwischen den verschiedenen Kriterien der Nachhaltigkeitsbetrachtung zu beachten, denn sehr oft werden durch eine Entscheidung mehrere Kriterien beeinflusst. Dabei kann es auch zu gegenläufigen Auswirkungen kommen.



Das Symbol weist im Folgenden jeweils auf mögliche Wechselwirkungen hin.

Die Vorteile eines jeden Baustoffs können optimal genutzt werden, wenn eine rechtzeitige Einbindung der relevanten Fachleute (Objektplaner, Tragwerkplaner, Bauphysiker, etc.) bereits in der Planungsphase erfolgt. So hat die Betonbauweise insbesondere bei der ökonomischen Qualität, der Möglichkeit der überwiegenden Nutzung regio-

ner Ressourcen, der technischen Qualität und der Prozessqualität durch intensive Kommunikation erhebliche Vorteile für das nachhaltige Bauen (s. auch [6]). Der gestalterischen Freiheit durch die Formvielfalt von Bauwerken und Bauteilen aus Beton sind kaum Grenzen gesetzt.

2.2 Einflüsse auf einzelne Nachhaltigkeitsaspekte

2.2.1 Ressourcenschonung und Klimaschutz

Eine **ressourcenschonende Optimierung** kann bei der Betonbauweise unter verschiedenen Aspekten erfolgen:

- Eine statische Optimierung der Bauwerke oder Bauteile aus Stahlbeton mit einfachen, geradlinigen Lastpfaden ohne Umwege durch widersprüchliche Planungsprozesse oder Umplanung führt zu Material- und Gewichtseinsparungen (weniger Beton, weniger Bewehrung). Generell sollte „materialgerecht“ konstruiert werden. Überdrückte Massivbaustrukturen reagieren dabei auf die Bauwerkslast deutlich resilienter und sind entsprechend dauerhafter als Bauwerksteile unter Zug- oder Lastwechselbeanspruchung. Beton in Querschnittsbereichen ohne Funktion sollte ausgespart werden.
- Bei Betonbauwerken kann eine herstellungstechnische Optimierung zu weniger Abfall und einer kürzeren Produktionszeit genutzt werden (z. B. Herstellung möglichst vieler gleicher Bauteilquerschnitte oder Optimierung von Einzelkomponenten des Bauwerkes).
- Eine Optimierung der Betonrezeptur führt zur Reduzierung der CO₂-Emissionen ohne Verlust an Widerstandsfähigkeit und Dauerhaftigkeit, so dass in der Regel keine Beschichtungen erforderlich sind sowie reinigungs- und wartungsarme Oberflächen entstehen.

In dem Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“ des DAfStb [7] wurde unter anderem festgestellt, dass im Geschossbau die Ökobilanz der gesamten Tragstruktur im Wesentlichen durch eine geschickte Planung der Geschossdecken verbessert werden kann. Dabei hat die verbaute Betonmenge einen größeren Einfluss auf die Ökobilanz als die Festigkeitsklasse des Betons. Um eine optimale Abtragung der Lasten sicherzustellen, sollten alle tragenden Elemente übereinander liegen. Durch diese Maßnahme können Beton- und Betonstahlmengen reduziert werden.



Wechselwirkungen: Die statische Optimierung der Bauteilquerschnitte mit dem Ziel eines geringeren Materialeinsatzes beeinflusst die **Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit** der Tragstruktur, da gegebenenfalls auf Tragreserven verzichtet wird. Die Entscheidung, welcher Schwerpunkt bei der Optimierung gesetzt wird, ist individuell von den Vorgaben und Anforderungen der am Bau Beteiligten abhängig.



2.2.2 Flächen- und Volumeneffizienz

Die verfügbare Grundfläche soll nicht nur aus wirtschaftlicher Sicht optimal ausgenutzt werden, sondern auch, um aus Sicht der Nachhaltigkeit einen vorhandenen Flächenbedarf bei möglichst geringem Flächenverbrauch zu decken.

Stützenfreie Grundrisse oder möglichst wenig vertikale Tragglieder über mehrere Geschosse steigern die **Flächeneffizienz** und dienen außerdem der **Funktionalität** des Gebäudes.

Die **Volumeneffizienz** wird wesentlich durch die Dicke der Geschossdecken beeinflusst. Diese kann durch die Wahl eines Tragsystems mit angemessenen Stützweiten optimiert werden.

Beispiel 1: Durch den Einsatz vorgespannter Bauteile und hochfester Betone lassen sich z. B. schlanke Decken auch bei weit gespannten Deckensystemen realisieren. Hier sind gemäß den vorhersehbaren Nutzungsmöglichkeiten Optimierungen vorzunehmen.

Beispiel 2: Effizient und ausgeglichen hinsichtlich der Beanspruchung können auch Stockwerksrahmen als statisches System verwendet werden, die in der Regel weniger Bewehrung benötigen.

Beispiel 3: Mit schlanken Stützenquerschnitten, z. B. optimiert durch den Einsatz hochfester Betone oder stumpfer Stützenstöße, kann die Geschossfläche ebenso effizient genutzt werden.



Wechselwirkungen: Durch die Verwendung schlanker, hoch ausgenutzter Bauteilquerschnitte wird einerseits der Ressourceneinsatz optimiert, gleichzeitig können – wie bereits oben erwähnt – die **Flexibilität und die Umnutzungsfähigkeit** des Gebäudes verbessert werden. Insbesondere bei großzügigen, freien Grundrissen ist auf die Auswirkungen der Beurteilung der **Brandabschnitte** zu achten.



2.2.3 Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit

Für die nachhaltige Nutzung von Immobilien sind die Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit des Tragwerkes von großer Bedeutung. Hierfür soll eine Anpassung an geänderte Nutzungsanforderungen mit möglichst geringen Kosten und Ressourcenverbrauch realisierbar sein.

Stützenfreie Grundrisse bieten eine maximale Flexibilität für die Innenraumgestaltung. Geschossdecken können mit bis zu 20 m Spannweite hergestellt werden [8], Industriehallen mit Binderspannweiten bis zu 60 m. Bei Haupt- und Nebenträgerdecken führt eine flexible Anordnung der Stützen entlang der Hauptträger zur Erhöhung der Flexibilität der Nutzflächen im Erdgeschoss [7].

Tragreserven für spätere Nutzungsänderungen können bereits im angemessenen Rahmen im Vorfeld eingeplant werden. So könnten beispielsweise Gebäude in Mischgebieten in den unteren Geschossen auf erhöhte Nutzlasten von 3,5 bis 5 kN/m² ausgelegt werden, um variable Nutzungsoptionen zu ermöglichen. Zusätzlich sollten Reserven für veränderte Ausbaulasten, z. B. leichte Trennwände, bedacht werden. Bei industrieller/gewerblicher Nutzung können für spätere Funktionsänderungen oder -erweiterungen dynamische Verkehrslasten und gegebenenfalls zusätzliche Lastfälle wie „Stapleranprall“ oder nachträglicher Einbau einer Kranbahn berücksichtigt werden.

Durch eine entsprechende Ausbildung der Giebelrahmen und Traufstützen sind nachträgliche Hallenerweiterungen problemlos möglich. In diesem Zusammenhang können modulare Konzepte bedeutsam sein, da sie reproduzierbare Schnittstellen und (Re-)kombinationsmöglichkeiten enthalten. Bei der Trennung der Fassade von der Tragkonstruktion und der Verwendung lösbarer Verbindungen können Fassadentafeln im Erweiterungsfall demontiert und an anderer Stelle wieder montiert werden. Im Geschossbau kann eine spätere Aufstockungsmöglichkeit bereits im Vorfeld durch konstruktive Details und Berücksichtigung der entsprechenden Lasten eingeplant werden.



Wechselwirkungen: Die Berücksichtigung einer nachträglichen Nutzlaständerung oder Erweiterung erfordert in der Regel größere, zunächst nicht ausgenutzte Querschnitte sowie entsprechende Anschlussdetails und damit einen größeren Materialaufwand in der Herstellphase. Sie wirken sich somit auf die **Ökobilanz** der Herstellphase aus.



2.2.4 Thermischer Komfort

Die **Betonkernaktivierung** macht sich die thermische Speicherfähigkeit des Betons zunutze und stabilisiert die Innenraumtemperaturen im Sommer wie im Winter. Sie sorgt nicht nur für ein äußerst behagliches Raumklima – und das ohne Luftverwirbelungen, sondern reduziert gleichzeitig den Energiebedarf für Heizung und Kühlung des Gebäudes. Die thermischen Eigenschaften des Betons wirken sich beim sommerlichen Wärmeschutz positiv auf das Raumklima aus; thermische Energie kann zudem gezielt gespeichert werden. Weitere Informationen gibt z. B. [7].



Wechselwirkungen: Für eine möglichst flexible Grundrissgestaltung werden vor allem Büroräume in der Regel mit einem leichten Innenausbau, doppelten Böden und abgehängten Decken ausgeführt. Aufgrund dieser Konstruktionen fehlt es in derartigen Räumen oft an thermisch wirksamer Speichermasse, besonders dann, wenn keine massiven Innenwände für die thermische Nutzung zur Verfügung stehen. Hinweise zur Kombination der Anforderungen „hohe Nutzungsflexibilität“ und „thermische Speichermasse“ gibt [10]. Die Auswirkung von Betonoberflächen auf die **Raumakustik** ist bei der Planung zu berücksichtigen.



2.2.5 Schallschutz und Raumakustik

Durch ihr hohes Gewicht bieten Bauteile aus Beton ideale Voraussetzungen für einen optimalen Schallschutz.

Zur Verbesserung der Raumakustik bei nicht verkleideten Oberflächen können abgehängte Deckensegel, Baffles oder andere flächige Absorber angeordnet werden. Ebenso können spezielle Betone oder strukturierte Betonoberflächen zu einer besseren Raumakustik beitragen.

Speziell im Hinblick auf thermisch aktivierte Stahlbetondecken (siehe 2.2.4) können bereits in die Decke einbetonierte Absorberstreifen verwendet werden, die bei einer sehr geringen Beeinflussung der thermischen Leistungsfähigkeit praxiserichte Absorptionsspektren für die Büronutzung erzielen. Weitere Informationen gibt z. B. [11].



Wechselwirkungen: Schallabsorbierende Materialien an Betonoberflächen können deren thermische Wirksamkeit verringern.

Werden im Deckenquerschnitt gezielt Hohlräume aus Gründen der Ressourceneffizienz angeordnet, sind die Schallschutzeigenschaften grundsätzlich zu prüfen.



2.2.6 Wärmeschutz

Wärme- und feuchteschutztechnische Eigenschaften der Gebäudehülle beeinflussen den Energiebedarf, die Behaglichkeit und die Dauerhaftigkeit eines Gebäudes. Durch eine entsprechende Detailplanung und Detailausbildung können Bauwerke aus Beton praktisch wärmebrückenfrei und optisch hochwertig konstruiert werden. Insbesondere durch Stahlbeton-Sandwichfassaden können Gebäude thermisch optimiert werden. Hilfestellungen hierzu sowie eine umfangreiche Sammlung von Details enthält [12]. Dabei ist jedoch auf die Rezyklierbarkeit und Nachhaltigkeit

der eingesetzten Wärmedämmmaterialien verstärkt zu achten. Interessante Alternativen können sich auch mit neuen Konzepten gradiert oder haufwerksporiger Betonquerschnitte, insbesondere in Deckensystemen, ergeben.



Wechselwirkungen: Für den Fall, dass die Tragschale von Stahlbeton-Sandwichfassaden als tragende Außenwand genutzt wird, können zusätzliche Stützen entfallen. Hierdurch wird jedoch die Flexibilität beeinflusst, da z. B. die Fassadentafeln nicht einfach ausgetauscht oder im Erweiterungsfall wiederverwendet werden können.



2.2.7 Brandschutz, Dauerhaftigkeit und Robustheit

Zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit sind die Einwirkungen aus der Umwelt und die **Nutzungsanforderungen** realistisch einzuschätzen. Der Beton wird passend zu der daraus resultierenden Beanspruchung (Expositionsklassen) zusammengesetzt. Eine hohe, gleichbleibende Qualität wird dabei durch kontrollierte Herstellbedingungen und die ständige Eigenüberwachung gewährleistet.

Die erforderliche **Feuerwiderstandsdauer** von Bauteilen aus Beton kann entsprechend den Nutzungsanforderungen durch eine geeignete Querschnittswahl einfach und kosteneffizient realisiert werden. Beton trägt nicht zur Erhöhung der Brandlast bei und entwickelt bei einem Brand keine giftigen Gase oder starken Rauch.

Praktisch **wartungsfrei** sind Tragwerke aus Beton aufgrund der Dauerhaftigkeit und Widerstandsfähigkeit des Baustoffes.



Wechselwirkungen: Die Abwägung, ein Bauwerk zu erhalten oder es zurückzubauen, ist im Sinne der Nachhaltigkeit immer **PRO Werterhaltung**. Bei Betrachtung von Bestandsgebäuden kann jedoch auch der sogenannte „Ersatzneubau“ mit einem langlebigen, robusten und flexiblen Neubau eine nachhaltige Lösung sein [13].



2.2.8 Recycling und Wiederverwendbarkeit

Bereits bei der Planung ist der spätere Rückbau am Ende des Lebenszyklus des Bauwerkes zu berücksichtigen.

Wenn möglich, ist im Sinne der Nachhaltigkeit die Wiederverwendung des gesamten Gebäudes oder einzelner Bauteile anzustreben. Hierfür ermöglichen z. B. wiederverwendbare Betonfertigteile, die bei Ausführung lösbarer Verbindungen zerstörungsfrei ausgebaut werden können, einen planmäßigen Rückbau des Gebäudes und leisten einen Beitrag zur Reduzierung der Abfallmenge und des Ressourcenverbrauches. Bei innovativen Betonbauweisen mit nichtmetallischer Bewehrung sind die Fragen der Rezyklierbarkeit und Wiederverwendbarkeit bei der Planung mit zu betrachten. Teilweise ist bei diesen Betonbauweisen derzeit die sortenreine Trennung von Beton und Bewehrung technisch oder wirtschaftlich noch nicht möglich.

Betonbruch hat sich als grobe Gesteinskörnung in Beton oder als ungebundene Schüttung im Straßenbau bewährt und ersetzt dort Primärrohstoffe. Im Jahre 2018 lag die Verwertungsquote von Betonbruch bei über 90 % [14]. Vom Beton getrennte Bewehrung wird als Stahlschrott zu 100 % dem Wertstoffkreislauf wieder zugeführt.

Der Einsatz grober rezyklierte Gesteinskörnung in tragenden Bauteilen ist in [15] geregelt. Je nach Expositionsklasse und Typ der rezyklierten Gesteinskörnung können bis zu 45 Vol.-% (übliche Innenbauteile) der groben natürlichen Gesteinskörnung durch grobe rezyklierte Gesteinskörnung ersetzt werden, ohne dass eine gesonderte oder gegenüber den Technischen Baubestimmungen deutlich erschwerte Bemessung der Bauteile erforderlich ist. Zu beachten ist, dass rezyklierte Gesteinskörnung derzeit nur regional für die Herstellung von Beton für tragende Bauteile verfügbar ist. Eine flächendeckende Versorgung der Betonhersteller mit geeigneten rezyklierten Gesteinskörnungen ist noch nicht gegeben¹⁾.



Wechselwirkungen: Der Einsatz rezyklierter Gesteinskörnungen in Beton beeinflusst aufgrund des erhöhten Wasseranspruchs und der eher kantigen und rauen Oberfläche des gebrochenen Kornes der rezyklierten Gesteinskörnung dessen **Verarbeitbarkeit**. Dies ist bei der Rezeptur und der Herstellung zu beachten.



3 Hinweise zum Baustoff

3.1 Umweltproduktdeklarationen für Beton

In erster Linie geben Umweltproduktdeklarationen (Environmental Product Declarations – EPDs) Auskunft über die Umweltwirkungen eines Produktes (s. a. Erläuterungen zu Abschnitt 3.1). Sie dienen dem **Informationsaustausch** und werden als Grundlage für die Ökobilanzierung von Gebäuden im Zuge der Nachhaltigkeitsbewertung genutzt. Für einen Baustoffvergleich sind EPDs nicht geeignet. Die Deklarationen gelten jeweils für einen Kubikmeter in

¹⁾ Der DAfStb nimmt in Kürze die Arbeit an Technischen Regeln zur Erweiterung der Verwendung von rezyklierten Gesteinskörnungen auf (andere Gesteinskörnungstypen, größere Austauschmengen).

Deutschland hergestellten unbewehrten Beton für Bauteile im Hochbau (Wände, Decken, Balken, Treppen etc.), im Tiefbau (erdberührte Bauteile, Gründungselemente etc.) und Ingenieurbau (z. B. Brücken). Dabei spielt es keine Rolle, ob diese Bauteile vor Ort geschalt und betoniert oder als Betonfertigteile auf die Baustelle geliefert werden.

In den Umweltproduktdeklarationen, werden sämtliche **Lebenszyklusphasen** des Betons von der Gewinnung der Ausgangsstoffe bis zum Abbruch des Gebäudes und der Wiederverwendung berücksichtigt (**Bild 1**).

Produktstadium			Stadium der Errichtung des Bauwerks		Nutzungsstadium								Entsorgungsstadium				Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenze
Rohstoffversorgung	Transport	Herstellung	Transport zur Baustelle	Montage	Nutzung / Anwendung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Erneuerung	Energieeinsatz für das Betreiben des Gebäudes	Wassereinsatz für das Betreiben des Gebäudes	Rückbau / Abriss	Transport	Abfallbehandlung	Beseitigung	Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- oder Recyclingpotenzial	
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	
x	x	x	x	x	x	MND	MNR	MNR	MNR	MND	MND	x	x	x	MND	x	

Bild 1: Übersicht über die deklarierten Lebenszyklusphasen

(x: in Ökobilanz enthalten; MND: Modul nicht deklariert; MNR: Modul auf Produktebene nicht relevant)

Download der EPDs für Beton der Druckfestigkeitsklassen C20/25 bis C50/60 als pdf-Datei unter: <https://www.beton.org/wissen/nachhaltigkeit/umweltproduktdeklarationen>. Umfangreiche Hintergrundinformationen zu den Beton-EPDs sowie Hilfestellungen für die Verwendung der Daten sind in [16] enthalten.

3.2 Übertragung auf das Gebäude

Mit den Umweltproduktdeklarationen für Beton liegen unabhängig verifizierte Baustoffwerte vor, um für die Beurteilung der ökologischen Säule der Nachhaltigkeit eines Gebäudes die Umweltwirkungen zu ermitteln, die dem verbauten Beton zuzuordnen sind. Die Plattform ÖKOBAUDAT [18] stellt allen Akteuren eine vereinheitlichte Datenbasis für die Ökobilanzierung von Bauwerken zur Verfügung. Das Gesamtbetonvolumen der Konstruktion (soweit bekannt, unterschieden in unterschiedliche Druckfestigkeitsklassen) ist lediglich mit den Ökobilanzwerten pro m³ Beton zu multiplizieren.

Der in der Regel vorhandene Bewehrungsanteil ist zusätzlich zu erfassen. Ergänzend zu den Datensätzen in der ÖKOBAUDAT [18] wurden für Betonstahl im Juni 2013 vom ift Rosenheim Umweltproduktdeklarationen für Betonstahl und Betonstahlmatten veröffentlicht [19]. Zur genaueren Berücksichtigung von Spannstahl existieren bereits in Nordeuropa EPDs, die für einfache Vergleichsrechnungen herangezogen werden können. Vom Ökobilanzierer sind anhand überschlagener Bewehrungsgrade geeignete Annahmen zu treffen, da die Bewehrungsanteile erheblichen Einfluss auf die Bilanzierung haben, in frühen Planungsphasen jedoch noch Schwankungen unterliegen.

Ein Beispielgebäude wird in den Erläuterungen zu Abschnitt 3.2 vorgestellt.

3.3 Hinweise zur Baustoffwahl und -optimierung

Den „nachhaltigen“ Baustoff an sich gibt es nicht. Die Wahl des Baustoffes beeinflusst jedoch zahlreiche Kriterien der Nachhaltigkeitsbetrachtung. Gleichzeitig gibt es aber auch viele baustoffunabhängige Aspekte, so dass die Betrachtung der Nachhaltigkeit eines Bauwerkes ausschließlich auf Basis der verwendeten Baustoffe unangebracht und falsch ist. Dies bezieht sich insbesondere auf die Ergebnisse der **Ökobilanz**.

In der Regel sind die Umweltwirkungen eines **einzelnen** Bauproduktes / Baustoffs kein relevanter Faktor für die Nachhaltigkeit eines Bauwerkes – vielmehr geht es um die Optimierung eines Bauwerkes im **ganzheitlichen** Sinne.

Zement- und Betonindustrie entwickeln neben den zurzeit üblichen Rezepturen **optimierte Zemente und Betone** mit möglichst geringen Umweltwirkungen. CO₂-effiziente Zemente und Betone mit **reduziertem Gehalt an Portlandzementklinker** können bereits verwendet werden. Klinker ist der wichtigste Bestandteil von Zement und sorgt für die Festigkeitsbildung des Betons. Darüber hinaus kommen je nach Zementart neben Klinker weitere Rohstoffe – sogenannte Hauptbestandteile – zum Einsatz. Die Zusammensetzung hängt von der jeweiligen Zementart und

den in der Zementnorm definieren Mengenanteilen ab. Die Zemente weisen je nach Anwendung im Beton unterschiedliche Leistungsmerkmale auf. Diese sind aus bautechnischer Sicht von Bedeutung, weil damit Betone für unterschiedliche Anwendungen hergestellt werden können. Neben diesen bautechnischen Merkmalen kommt seit einigen Jahren auch dem CO₂-Gehalt eine hohe Bedeutung zu. Die Verringerung des Klinkergehalts ist dabei ein Hebel, um den CO₂-Fußabdruck von Zementen und Betonen zu reduzieren.

Die Herausforderung besteht darin, die CO₂-Bilanz des Betons bzw. eines Bauteils weiter zu verbessern, **ohne die technische Leistungsfähigkeit** aus den Augen zu verlieren. Je nach Anwendungsfeld steht neben robusten Frischbetoneigenschaften und einer praxisgerechten Festigkeitsentwicklung die Dauerhaftigkeit im Mittelpunkt der Betrachtungen. Der Planer legt in Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen bauteilbezogen die Expositions- und Feuchtigkeitsklassen fest (siehe **Bild 2**).

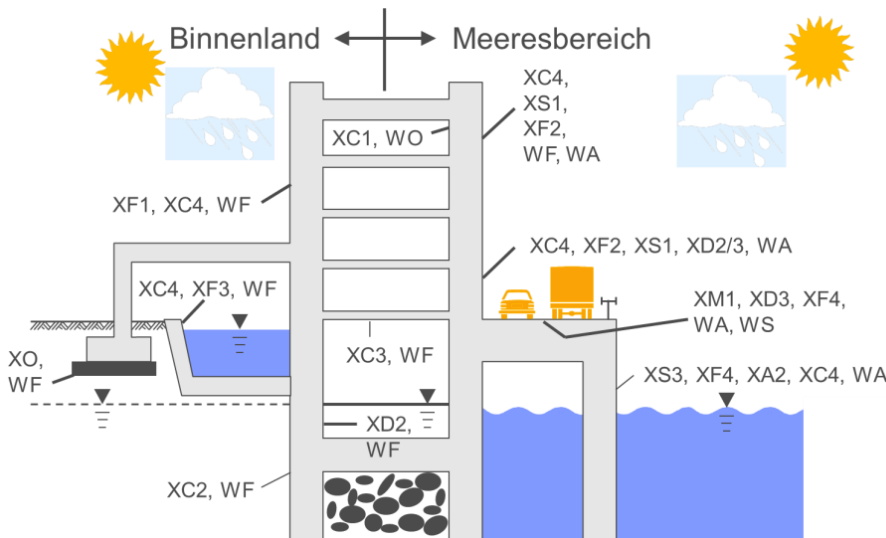


Bild 2: Expositions- und Feuchtigkeitsklassen an Bauteilmustern

Wie zuvor beschrieben, können für Betone im üblichen Hochbau (Innenbauteile XC1 und Außenbauteile XC4/XF1) je nach Verfügbarkeit die in den Erläuterungen zu Abschnitt 3.3 dieser Planungshilfe genannten Zementarten verwendet werden (s. Seite 12). Die für die Nachbehandlung bedeutende Festigkeitsentwicklung von Betonen mit CEM II- und CEM III/A-Zementen ist unter baupraktischen Bedingungen vergleichbar.

Für eine Bauaufgabe stehen grundsätzlich verschiedene Zemente mit vergleichbarer technischer Leistungsfähigkeit zur Verfügung, für deren Herstellung pro Tonne unterschiedlich viel CO₂ freigesetzt wird. Es besteht also schon heute die Möglichkeit, zu prüfen, ob womöglich ein Beton auf Basis eines CO₂-effizienteren Zements vergleichbare technische Eigenschaften für die konkrete Anwendung aufweist. Die Frage, welche Zementart bei vergleichbarer technischer Leistungsfähigkeit in einem Transportbetonwerk, einem Fertigteilwerk oder einer anderen Anwendung zum Einsatz kommt, hängt maßgeblich auch von der Verfügbarkeit der Ausgangsstoffe ab. Bei Vorgaben bezüglich zu verwendender Betonausgangsstoffe bzw. Betone sind somit immer auch die örtlich vorhandenen und verfügbaren Ressourcen zu beachten. Es kommt also auf eine gute Kommunikation der am Bau Beteiligten an.



Wechselwirkungen: **Baustoffauswahl** und materialoptimierte Planung der einzelnen Bauteile unter Beachtung der Umnutzungsfähigkeit verbessern die Ökobilanz der Tragstruktur.



Eine Ressourcenschonung sowie eine Reduzierung der CO₂-Emissionen kann auch durch Verwendung von industriell hergestellten oder rezyklierten Gesteinskörnungen erreicht werden (siehe 2.2.8). Für einige landeseigene Bauvorhaben wird die Verwendung von rezyklierter Gesteinskörnung für Beton bereits empfohlen.



Wechselwirkungen: Bei der Verwendung von industriell hergestellten oder rezyklierten Gesteinskörnungen ist darauf zu achten, dass diese keine negativen **Auswirkungen auf Boden und Grundwasser** haben und die abfallrechtlichen Anforderungen erfüllen. Bei rezyklierten Gesteinskörnungen kann dies durch Einhaltung von [21] und [22] nachgewiesen werden.



Die **Auswirkungen der Verwendung von Baustoffen auf die lokale Umwelt** ist ein weiteres Nachhaltigkeitskriterium in Zertifizierungssystemen. Die Umweltverträglichkeit von Beton wird bestimmt durch die Umweltverträglichkeit der Ausgangsstoffe, für die entweder aufgrund der Erfahrung keine gesonderten Nachweise erforderlich sind oder für die entsprechende Nachweise geführt werden müssen, s. [23].

4 Auswirkungen von Planungsentscheidungen auf die Bauausführung

Im Zuge der Planung von Betonbauwerken ist zu beachten, dass sich Entscheidungen zur baulichen Durchbildung und zur Festlegung von Baustoffeigenschaften immer auch auf die möglichen und notwendigen Verfahren der Bauausführung auswirken.

Der Planende muss insofern die verschiedenen Aspekte zusammenführen und die entsprechenden Auswirkungen im Spannungsfeld zwischen Bemessung/baulicher Durchbildung, Baustoffauswahl und Bauausführung bedenken. Mit dem BBQ-Ansatz in der neuen DIN 1045 steht hierfür ein entsprechendes Werkzeug zur Verfügung (BBQ = Betonbauqualität, s. a. [6]). Auswirkungen der Festlegungen der Planung sind z. B.:

- Die weitere Reduzierung des Klinkergehalts im Zement oder Reduzierung des Zementgehalts im Beton führt zu einer langsameren Festigkeitsentwicklung und somit zu teilweise deutlich längeren Nachbehandlungsdauern und zu längeren Standzeiten der Schalung. Dieser Mehraufwand ist bei der Betrachtung des insgesamt zu leistenden Aufwandes zu beachten.
- Eine Optimierung und Reduzierung von Querschnitten führt immer dazu, dass der Betoneinbau nur mit erhöhtem Aufwand möglich ist. Bei der Massenoptimierung im Sinne einer Reduzierung von Betonmengen ist immer zu betrachten, welcher Aufwand beim Bauen dadurch entsteht. So wird u. U. der Einsatz von Außenrüttlern notwendig, weil bei sehr schlanken und hochbewerten Bauteilen der Einsatz von Innenrüttlern ausscheidet.
- Der Einsatz von rezyklierten Gesteinskörnungen setzt voraus, dass diese lokal in der notwendigen Qualität und Gleichmäßigkeit vorliegen – dies liegt jedoch außerhalb des Einflussbereiches des Bauausführenden. Beim Einsatz kann es insofern zu erhöhten Transport- und Herstellungsaufwendungen aufseiten der Baustoffherstellung kommen, die in der Gesamtbilanz berücksichtigt werden müssen.
- Bei u. U. nur begrenzt homogenisiertem rezykliertem Material (Gesteinskörnung) und dementsprechend schwankenden Eigenschaften kann es in der Folge zu unerwarteten Schwankungen in den Frischbetoneigenschaften kommen, die beim Einbau des Betons erhöhte Aufmerksamkeit und somit höheren Aufwand bei der Bauausführung bedingen.

Je nach Bauaufgabe können sich weitere Fragestellungen ergeben, bei denen Festlegungen in der Planung und in der Baustoffauswahl das Handlungsfeld der Bauausführung einschränken und dort zu erhöhten Aufwendungen führen. Beim nachhaltigen Bauen mit Beton werden diese Wechselwirkungen gemeinsam und im Sinne einer Gesamtbilanzierung betrachtet.

5 Zusammenfassung

Die vorgenannten Ausführungen zeigen, dass im komplexen Abwägungsprozess eine Entscheidung für das Bauen mit Beton überwiegend positive Auswirkungen auf die Nachhaltigkeit von Gebäuden hat. Die vorliegende Planungshilfe unterstützt den Planenden dabei, das Potenzial der Betonbauweise im Sinne der Nachhaltigkeit optimal zu nutzen, ohne auf neue klimagerechte Regelwerke warten zu müssen.

Eine frühzeitige Abstimmung aller am Bau Beteiligten ist aufgrund der Anforderungen an nachhaltige Gebäude unabdingbar, damit schon in der Vorplanungsphase geeignete Materialien und Bauverfahren berücksichtigt werden.

Die Umweltproduktdeklarationen für Beton und Betonstahl ermöglichen bauteilunabhängig bereits in frühen Planungsphasen ein Abschätzen der Umweltwirkungen von Gebäuden aus Beton über die zu erwartende Betonkubatur und den Bewehrungsanteil.

Diese Planungshilfe wurde durch den DAfStb-Vorstand als erste konkrete Maßnahme zur Umsetzung des nachhaltigen Bauens mit Beton erarbeitet. Die Planungshilfe ist eingebettet in eine Roadmap des DAfStb, die – unterstützt durch Forschungs- und Richtlinienprojekte in den verschiedenen Gremien – zum Ziel hat, die Betonbauweise bis zum Jahr 2045 zur Klimaneutralität zu führen [24].

6 Literatur

- [1] Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Berlin, Februar 2016.
- [2] FDB-Merkblatt Nr. 10 zum nachhaltigen Bauen mit Betonfertigteilen, Ausgabe Juli 2019.
- [3] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton. Grundsätze des nachhaltigen Bauens mit Beton, Gelbdruck Juli 2014, unveröffentlicht.
- [4] Graubner, C. A. et al.: Der Stadtbaustein im DAfStb/BMBF-Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“ / Dossier zu Nachhaltigkeitsuntersuchungen – Teilprojekt A – In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Heft-Nr. 588 (2014).
- [5] Müller, Chr.; Mohr, M.: Wie gelingt die Dekarbonisierung des Betonbaus in der Praxis? Beitrag für die Baukammer Berlin, 2/2021.

- [6] DIN 1045-1000, Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1000: Grundlagen und Betonbauqualitätsklassen (BBQ), erscheint voraussichtlich in 2022.
- [7] Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“, Ressourcen- und energieeffiziente, adaptive Gebäudekonzepte im Geschossbau – Teilprojekt C. DAfStb Heft 585. Beuth Verlag, Berlin 2010.
- [8] Betonfertigteile im Geschoss- und Hallenbau – Grundlagen der Planung. FDB e.V., Bonn 2021.
- [9] Energieeffizienz im Hochbau. BetonMarketing Deutschland, Erkrath 2013.
- [10] Wirksame Speichermasse im modernen, nutzungsflexiblen Bürobau – Leitfaden. Hofer, G.; Varga, M.; Grim, M.; Amann, S.: Nachhaltigkeit massiv AP 7. e7 Energie Markt Analyse GmbH, Wien 2009.
- [11] Integrale Akustiksysteme für thermisch aktive Betonbauteile – Akustik in Betondecken. Drotleff; Wack. Forschungsinitiative Zukunft Bau F 2738. Fraunhofer IRB Verlag 2011.
- [12] Planungsatlas Hochbau, InformationsZentrum Beton, Düsseldorf, s. www.planungsatlas-hochbau.de, zuletzt abgerufen am 19.10.2021.
- [13] Bestandsersatz als ökonomische und ökologische Alternative zur energetischen Sanierung. Studie im Auftrag des Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V. April 2010.
- [14] Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2018. Kreislaufwirtschaft Bau, Berlin 2020.
- [15] DAfStb-Richtlinie Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620, Ausgabe September 2010.
- [16] Nachhaltig bauen mit Beton – Begleitbroschüre zu den Umweltproduktdeklarationen Beton. Informations-Zentrum Beton GmbH, Düsseldorf, August 2020.
- [17] Umwelt-Produktdeklarationen für Beton. InformationsZentrum Beton GmbH, Düsseldorf 2018.
- [18] Baustoffdatenbank des Bundesministeriums des Innern, für Bau und Heimat (BMI); Version 2021-II vom 25.06.2021, s. <https://www.oekobaudat.de/>, zuletzt abgerufen am 19.10.2021.
- [19] EPD Betonstahl (Kurzfassung). Badische Stahlwerke GmbH. ift Rosenheim, Juni 2013.
- [20] Abschlussbericht „Auswirkungen der erweiterten europäischen Basisanforderungen für Bauwerke auf die Regelungen der harmonisierten technischen Spezifikationen“. Forschungsinstitut der Zementindustrie: TB-BTe B2275-A-2/2011. Auftraggeber: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBSR).
- [21] DIN 4226-101, Rezyklierte Gesteinskörnungen für Beton nach DIN EN 12620 – Teil 101: Typen und geregelte gefährliche Substanzen.
- [22] DIN 4226-102, Rezyklierte Gesteinskörnungen für Beton nach DIN EN 12620 – Teil 102: Typprüfung und Werkseigene Produktionskontrolle.
- [23] Erläuterung des DAfStb zum aktuellen Regelungsstand der Umweltverträglichkeit von Beton (September 2020), s. http://www.dafstb.de/application/DAfStb_Umweltvertraeglichkeit_Beton_2020-09-07.pdf, zuletzt abgerufen am 19.10.2021.
- [24] Nachhaltig bauen mit Beton – Roadmap des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) für einen klimagerechten und ressourceneffizienten Betonbau, Berlin im September 2021.
- [25] Liste der Anwendungszulassungen für Zement des Deutschen Instituts für Bautechnik, s. https://www.dibt.de/fileadmin/verzeichnisse/NAT_n/vSVA_3.htm, zuletzt abgerufen am 19.10.2021.
- [26] Concrete Sustainability Council, Hintergrundbericht zum CO₂-Modul, erscheint voraussichtlich Anfang 2022, s. a. <https://www.csc-zertifizierung.de/>, zuletzt abgerufen am 19.10.2021.

Erläuterungen zur Planungshilfe**Zu 3.1 Umweltproduktdeklarationen für Beton**

Bei Ortbetonbauwerken im Hochbau werden überwiegend Betone der Druckfestigkeitsklassen von C8/10 bis C30/37 eingesetzt. In **Tabelle E1** sind auszugsweise die Ökobilanzwerte für einen Beton C25/30 angegeben.

Tabelle E1: Auszug aus der EPD Beton C25/30 – Ergebnisse der Ökobilanz für 1 m³ Beton [17]

Umweltwirkungen	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1²⁾	C1-C3	D
Globales Erwärmungspotenzial (GWP)	kg CO ₂ -Äq.	197 ¹⁾	3,9	1,08	-10,0	21,11	-21,40
Abbaupotenzial der strato-sphärischen Ozonschicht (ODP)	kg CFC11-Äq.	5,36E-8	0,77E-12	4,71E-12	0	1,61E-11	-1,32E-10
Versauerungspotenzial von Boden und Wasser (AP)	kg SO ₂ -Äq.	0,287	0,0099	1,60E-3	0	0,073	-0,047
Eutrophierungspotenzial (EP)	kg (PO ₄) ³⁻ -Äq.	0,0535	0,0024	2,57E-4	0	1,64E-2	-8,86E-3
Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon (POCP)	kg Ethen-Äq.	0,023	-0,0034	1,11E-4	0	-6,95E-3	-2,79E-3
Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen (ADP _{el})	kg Sb-Äq.	0,64E-3	0,41E-6	5,36E-7	0	3,57E-6	-8,60E-6
Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe (ADP _{foss})	MJ	900,0	52,50	10,5	0	273,1	-227,00
Ressourceneinsatz	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	C1-C3	D
Total erneuerbare Primärenergie (PE _{em})	MJ	190,0	3,5	5,89	0	34,5	-94,10
Total nicht erneuerbare Primärenergie (PE _{nem})	MJ	999,0	52,70	13,66	0	282,6	-279,0
Einsatz von Sekundärstoffen	kg	23,0	0	0	0	0	2.400,0
Erneuerbare Sekundärbrennstoffe	MJ	183,0	0	0	0	0	0
Nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe	MJ	348,0	0	0	0	0	0
Einsatz von Süßwasserressourcen	m ³	0,80	0,02	0	0	0	-1,28
¹⁾ Hierin nicht enthalten sind 29 kg CO ₂ -Äq. aus der Verbrennung von Abfällen bei der Herstellung von Zementklinker. Weitere Erläuterungen siehe EPD-Text. ²⁾ Durch Carbonatisierung nehmen Betonbauteile während ihrer Nutzungsdauer Kohlendioxid auf. Weitere Erläuterungen siehe EPD-Text.							

Für Betonfertigteile werden üblicherweise Betone mit Druckfestigkeitsklassen C35/45 bis C50/60 eingesetzt. In **Tabelle E2** sind auszugsweise die Ökobilanzwerte für einen Beton C45/55 angegeben.

Tabelle E2: Auszug aus der EPD Beton C45/55 – Ergebnisse der Ökobilanz für 1 m³ Beton [17]

Umweltwirkungen	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1 ²⁾	C1-C3	D
Globales Erwärmungspotenzial (GWP)	kg CO ₂ -Äq.	286,0 ¹⁾	29,10	1,08	-10,0	21,11	-21,40
Abbaupotenzial der strato-sphärischen Ozonschicht (ODP)	kg CFC11-Äq.	7,72E-8	5,75E-12	4,71E-12	0	1,61E-11	-1,32E-10
Versauerungspotenzial von Boden und Wasser (AP)	kg SO ₂ -Äq.	0,406	0,072	1,60E-3	0	0,073	-0,047
Eutrophierungspotenzial (EP)	kg (PO ₄) ³⁻ -Äq.	0,081	0,017	2,57E-4	0	1,64E-2	-8,86E-3
Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon (POCP)	kg Ethen-Äq.	0,035	-0,024	1,11E-4	0	-6,95E-3	-2,79E-3
Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen (ADP _{ei})	kg Sb-Äq.	1,02E-3	3,11E-6	5,36E-7	0	3,57E-6	-8,60E-6
Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe (ADP _{foss})	MJ	1.360,0	394,1	10,5	0	273,1	-227,00
Ressourceneinsatz	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	C1-C3	D
Total erneuerbare Primärenergie (PE _{em})	MJ	282,0	26,5	5,89	0	34,5	-94,10
Total nicht erneuerbare Primärenergie (PE _{nem})	MJ	1.500,0	395,8	13,66	0	282,6	-279,0
Einsatz von Sekundärstoffen	kg	11,0	0	0	0	0	2.400,0
Erneuerbare Sekundärbrennstoffe	MJ	264,0	0	0	0	0	0
Nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe	MJ	502,0	0	0	0	0	0
Einsatz von Süßwasserressourcen	m ³	0,88	0,01	0	0	0	-1,28
¹⁾ Hierin nicht enthalten sind 42 kg CO ₂ -Äq. aus der Verbrennung von Abfällen bei der Herstellung von Zementklinker. Weitere Erläuterungen siehe EPD-Text. ²⁾ Durch Carbonatisierung nehmen Betonbauteile während ihrer Nutzungsdauer Kohlendioxid auf. Weitere Erläuterungen siehe EPD-Text.							

Über die Angaben in der EPD hinaus entstehen in der Nutzungsphase (B1 bis B5) durch den Beton während der Referenznutzungsdauer von 50 Jahren [1] keine Umweltwirkungen und Ressourceneinsätze. Durch das Recyclingpotenzial des Betons (D) werden die meisten Umweltwirkungen, die am Lebensende durch den Abbruch des Gebäudes und die Aufbereitung des Recyclingmaterials entstehen (C1 bis C3), kompensiert. Einige sogar um ein Vielfaches.

Die wesentlichen Umweltwirkungen entstehen in der Herstellphase (A1 bis A3). Die wichtigsten Einflussfaktoren für einen Beton der Druckfestigkeitsklasse C45/55 sind in **Bild E1** dargestellt.

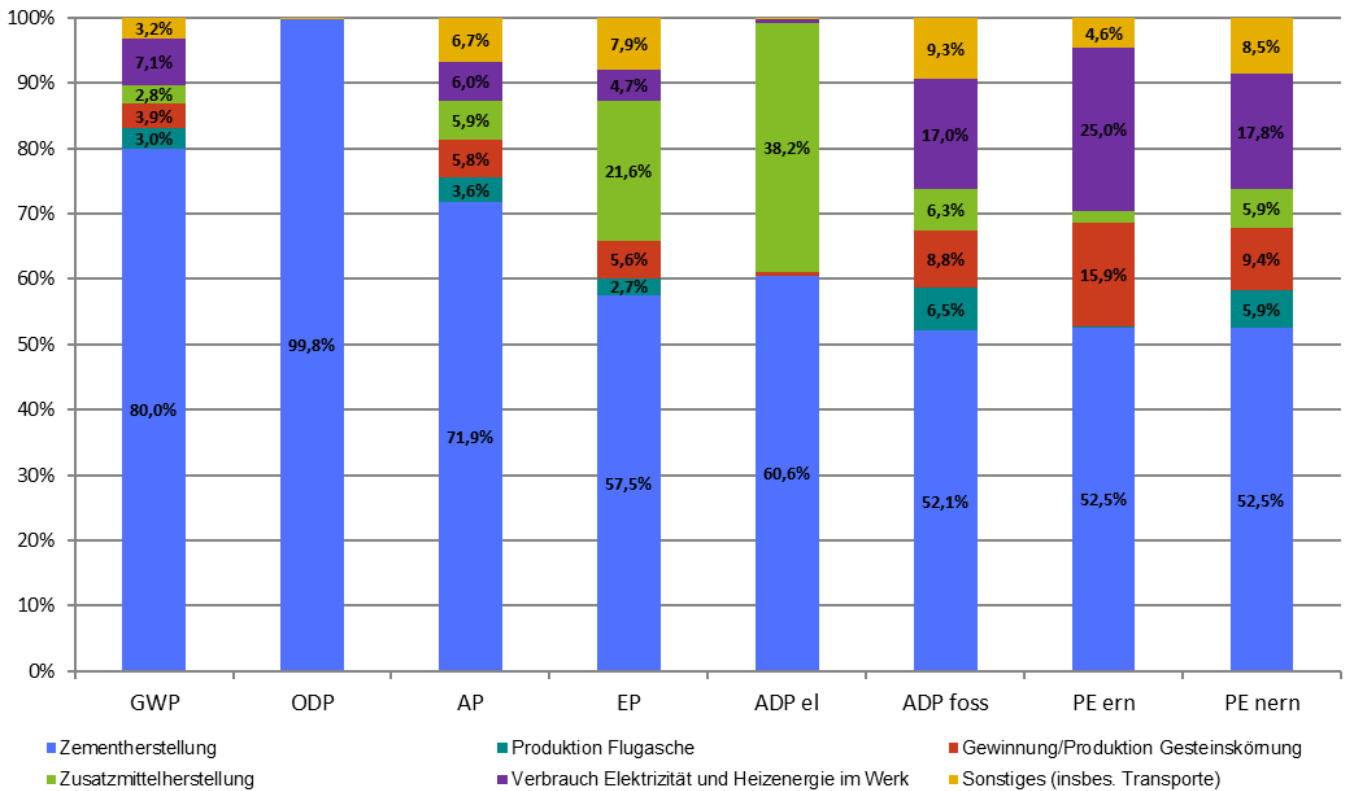


Bild E1: Einflussfaktoren auf die Wirkungs- und Sachbilanz für die Herstellung eines Betons der Druckfestigkeitsklasse C45/55 (A1 bis A3) [17]

Verwendete Abkürzungen:

- GWP: Globales Erwärmungspotenzial,
- ODP: Abbau Potenzial der stratosphärischen Ozonschicht,
- AP: Versauerungspotenzial von Boden und Wasser,
- EP: Eutrophierungspotenzial (Überdüngung),
- POCP: Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon,
- ADP_{el}: Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen,
- ADP_{foss}: Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe,
- PE_{ern}: erneuerbare Primärenergie, PE_{nern}: nicht-erneuerbare Primärenergie.

Zu 3.2 Übertragung auf das Gebäude

Im Folgenden wird die Ermittlung der Umweltwirkungen beispielhaft anhand einer Industriehalle aus vorgefertigten Bauteilen erläutert. Zur Ermittlung der Ökobilanz eines Bauwerkes werden die Ökobilanz-Datensätze (**Tabelle E3**) auf die eingesetzten Gesamtmassen angewendet. Exemplarische Ermittlung der ökobilanziellen Werte für die Betonfertigteile (Binder, Riegel, Stützen, Fundamente) einer Industriehalle (Länge = 47 m, Breite = 28 m, Höhe = 10 m, ca. 1.326 m² Nettogeschossfläche (NGF)) siehe **Tabelle E4**.

Tabelle E3: Ökobilanzdatensätze für 1 t Betonstahl B 500 und 1 m³ Beton C45/55 (Module A1 bis A5)

Parameter	Einheit	1 t Betonstahl [19]	1 m ³ Beton C45/55 [17]
GWP	kg CO ₂ -Äq.	280	316
ODP	kg CFC11-Äq.	1,02E-04	7,72E-8
AP	kg SO ₂ -Äq.	0,766	0,480
EP	kg (PO ₄) ³⁻ -Äq.	0,0991	0,098
POCP	kg Ethen Äq.	0,0397	0,0112
ADP _{el}	kg Sb Äq.	3,71E-05	1,02E-3
ADP _{foss}	MJ	4.320	1.746
PE _{ern}	MJ	960	314
PE _{nern}	MJ	7.920	1.909

Tabelle E4: Exemplarische Ermittlung der Umweltwirkungen für eine Industriehalle (Anteil der Betonfertigteile; Module A1 bis A5)

Parameter	Einheit	Anteil Bewehrung 32.489 kg ¹⁾	Industriehalle		Gesamt pro m ² NGF
			52,5 m ³ C45/55	154,4 m ³ C35/45	
GWP	kg CO ₂ -Äq.	9.096,9	16.590,0	39.245,4	49,0
ODP	kg CFC11-Äq.	3,31E-03	4,05E-06	1,05E-05	2,51E-06
AP	kg SO ₂ -Äq.	24,887	25,200	57,514	0,0811
EP	kg (PO ₄) ³⁻ -Äq.	3,21966	5,145	10,9898	0,0146
POCP	kg Ethen-Äq.	1,2898	0,588	3,4340	0,00401
ADP _{el}	kg Sb-Äq.	1,21E-03	5,36E-02	1,27E-01	1,37E-04
ADP _{foss}	MJ	140.352	91.665	187.488	317,1
PE _{ern}	MJ	31.189	16.485	37.548	64,2
PE _{ner}	MJ	257.313	100.223	206.581	425,4

¹⁾ inkl. Spannstahl.

Zu 3.3 Hinweise zur Baustoffwahl und -optimierung

Umweltwirkungen des Zementes, die die Ökobilanz des Betons wesentlich beeinflussen, haben einen Anteil an der Nachhaltigkeitszertifizierung eines fiktiven Bürogebäudes von lediglich 0,4 bis 1,2 % [20]. Zum einen liegt das daran, dass viele bei der Zertifizierung betrachtete Kriterien durch den Baustoff nicht beeinflusst werden, zum anderen entsteht über den gesamten Lebenszyklus der größere Anteil der Umweltwirkungen nicht während der Herstellungsphase, sondern im Laufe der Nutzungsdauer des Bauwerkes. Hier fallen durch den Beton keine zusätzlichen Umweltlasten an. Der Beitrag zu den Umweltlasten aus der Herstellung von Zement/Beton darf aber aufgrund des geringen Anteils an der Ökobilanz des Bauwerkes über den gesamten Lebenszyklus nicht einfach vernachlässigt werden, ist doch absehbar, dass die Bedeutung der Herstellung des Bauwerkes und der dabei verwendeten Baustoffe in der Ökobilanz durch wachsende Anforderungen an die Energieeffizienz des Gebäudes zunehmen wird. Klinkereffiziente Zemente kommen in Deutschland bereits seit vielen Jahren zum Einsatz, auch weil dadurch die CO₂-Emissionen aus der Zementherstellung reduziert werden können. Der durchschnittliche Klinker-Zement-Faktor konnte in den letzten rd. 25 Jahren von 86 % (1997) auf 71 % gesenkt werden. Dadurch haben die Zementhersteller in Deutschland in signifikanter Weise zur Reduzierung der CO₂-Emissionen beigetragen. Die aktuellen Betonnormen DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 enthalten die Anwendungsregeln für Normzemente in Abhängigkeit von den Expositionsklassen. Enthalten die Betonnormen für einen Zement keine oder eine sehr eingeschränkte Anwendung, so wurde und wird auch heute in diesen Fällen der Nachweis der Eignung für die Anwendung in bestimmten Expositionsklassen durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (Anwendungszulassung (az)) des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) erbracht. Aktuell (Stand Juni 2021) gibt es 27 dieser Zulassungen [25]. Somit sind folgende Zementarten in allen Expositionsklassen verwendbar:

- Portlandzement CEM I,
- Portlandhüttenzemente CEM II/A-S und CEM II/B-S,
- Portlandschieferzemente CEM II/A-T und CEM II/B-T,
- Portlandkalksteinzemente CEM II/A-LL,
- Portlandflugaschezemente CEM II/A-V und CEM II/B-V,
- Portlandkompositzemente CEM II/A-M mit S, LL, T, V bzw. D²⁾,
- Portlandkompositzemente CEM II/B-M mit S, T, V bzw. D²⁾,
- Portlandkompositzemente CEM II/B-LL, CEM II/B-M und ggf. CEM II/C-M mit abZ (Anwendungszulassung az),
- Hochofenzemente CEM III/A³⁾,
- Hochofenzemente CEM III/B⁴⁾.

²⁾ (D-V) nicht in XF2/XF4.

³⁾ Expositionsklasse XF4: CEM III/A der Festigkeitsklasse $\geq 42,5$ N oder der Festigkeitsklasse 32,5 R mit bis zu 50 M.-% Hüttsand.

⁴⁾ CEM III/B darf in XF4 nur für die folgenden Anwendungsfälle verwendet werden:

a) Meerwasserbauteile: $w/z \leq 0,45$; Mindestfestigkeitsklasse C35/45 und $z \geq 340$ kg/m³

b) Räumlerlaufbahnen: $w/z \leq 0,35$; Mindestfestigkeitsklasse C40/50 und $z \geq 360$ kg/m³; Beachtung von DIN 19569-1 Auf Luftporen kann in beiden Fällen verzichtet werden.

Die neuen Portlandkompositzemente CEM II/C-M, für die seit wenigen Monaten erste allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen vorliegen, können mindestens für alle Expositionsklassen außer XF2, XF3 und XF4 verwendet werden. Diese Regelung wird für CEM II/C-M (S-LL)-Zemente in etwa zwei Jahren auch in der nächsten Ausgabe der Betonnorm DIN 1045-2 enthalten sein. Betone für den üblichen Hochbau (Innenbauteile XC1 und Außenbauteile XC4/XF1) können je nach Verfügbarkeit mit allen zuvor genannten Zementen hergestellt werden. Dies ist insofern von Bedeutung, als etwa 65 % des Ortbetons in Deutschland in diesen Expositionsklassen verwendet werden. Mit Nachweis in der Zulassung kann auch eine Freigabe in XF2, XF3 und XF4 erfolgen. Auch solche Zulassungen liegen vor.

Tabelle E5 zeigt in Zeile 5 die heute mit der Herstellung von einem Kubikmeter Beton im Mittel verbundenen CO₂-Emissionen – ausgedrückt als Global Warming Potenzial (GWP) in kg CO₂-Äquivalente je Kubikmeter Beton, auf Basis der Umweltproduktdeklarationen für Beton (weitere Informationen siehe [17]).

Die Tabelle enthält zur Orientierung außerdem Werte für Betone, die bezüglich der zu ihrer Herstellung notwendigen Treibhausgasemissionen 20 % bzw. 30 % besser wären als der Durchschnitt oder bis zu 20 % über dem heutigen Durchschnitt liegen.

Neben einer Einteilung anhand der Einheit kg CO₂-Äquivalent/m³ Beton zeigt **Tabelle E6** eine Darstellung unter Berücksichtigung der Leistungsfähigkeit des Betons (CO₂-Äquivalent/(m³ Beton x N/mm²)). Diese Darstellung zeigt Folgendes:

- In den höheren Festigkeitsklassen sind die leistungsbezogenen Treibhausgasemissionen geringer als in den niedrigen Festigkeitsklassen.
- Diese leistungsbezogene Betrachtung ergibt Sinn bei Ausnutzung der höheren Festigkeit durch eine Verringerung der Bauteilabmessung, d.h., wenn schlank gebaut und dadurch CO₂ in der Herstellung des Bauteils eingespart wird.
- Sind höhere Festigkeiten aus statischen Gründen oder durch die Expositionsklasse begründet, ohne dass eine Materialeinsparung möglich ist, kann anhand dieser Werte die CO₂-Effizienz des Betons beschrieben werden.

Die Anwendbarkeit nach Expositionsklassen gemäß DIN 1045-2, Tabellen F.3.1 bis F.3.3 ist zu berücksichtigen. Die Werte in den Zeilen 4, 5 und 6 sind im Prinzip für alle Betone bzw. Betonbauteile für den üblichen Hochbau (Innenbauteile XC1 und Außenbauteile XC4/XF1) verwendbar.

Tabelle E5: Orientierungswerte für Treibhausgasemissionen von Beton

1	Bezeichnung	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C45/55	C50/60
2	Treibhausgasemissionen in kg CO ₂ -Äquivalent/m ³ Beton						
3	Beton z. B. mit CEM VI o. ä.	125	138	153	171	200	210
4	Beton z. B. mit CEM III/A, CEM II/C o. ä.	142	158	175	195	229	240
5	Beton heutiger Durchschnitt ¹⁾	178	197	219	244	286	300
6	Beton mit CEM I	213	237	261	286	312	325

¹⁾ Werte GWP ohne Verbrennung von Abfällen bei der Klinkerherstellung; siehe auch **Tabellen E1** und **E2**, Module A1 bis A3 für Betone C25/30 und C45/55.

Tabelle E6: Orientierungswerte für leistungsbezogene Treibhausgasemissionen von Beton

1	Bezeichnung	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C45/55	C50/60
2	leistungsbezogene Treibhausgasemissionen ¹⁾ in kg CO ₂ -Äquivalent/(m ³ x N/mm ²)						
3	Beton z. B. mit CEM VI o. ä.	4,3	4,1	3,7	3,5	3,4	3,3
4	Beton z. B. mit CEM III/A, CEM II/C o. ä.	4,9	4,6	4,3	4,0	3,9	3,8
5	Beton heutiger Durchschnitt	6,1	5,8	5,3	5,0	4,8	4,7
6	Beton mit CEM I	7,3	7,0	6,4	5,8	5,3	5,1

¹⁾ Berechnung der Werte auf Basis mittlerer Festigkeiten $f_{cm,cube}$: Beispiel C20/25, Zeile 3: $125/(f_{ck}+4) = 125/29 = 4,3$.

Es sei nochmals betont, dass bei Vorgaben bezüglich zu verwendender Betonausgangsstoffe bzw. Betone immer die bautechnischen Anforderungen sowie die örtlich vorhandenen/verfügbaren Ressourcen zu beachten sind. Es kommt also auf eine gute Kommunikation der am Bau Beteiligten an.

Wie zuvor gezeigt, können die durch den Zement entstehenden Umweltwirkungen z. B. durch die Reduzierung des Klinkeranteils im Beton verringert werden. Hierbei ist nicht nur die Verfügbarkeit der verwendeten „Ersatzstoffe“, wie z. B. Flugasche, auf dem Markt zu berücksichtigen, sondern auch, dass ökologisch optimierte Betonrezepturen nur dann mit konventionellen Rezepturen vergleichbar sind, wenn sie ebenfalls eine gleichbleibende Festigkeit, Dauerhaftigkeit und konstante Qualität gewährleisten können.

Bei der Herstellung von Betonfertigteilen wird beispielsweise mit einer hohen Frühfestigkeit des Betons gearbeitet, um möglichst kurze Ausschulfristen zu erreichen. Fertigteilwerke verwenden daher häufig höhere Betondruckfestigkeitsklassen mit denen die Querschnittsabmessungen reduziert werden können. Die Rezepturen können durch die kontrollierten Herstellbedingungen im Werk unter ständiger Qualitätskontrolle aus wirtschaftlicher und ökologischer Sicht weiter optimiert werden.

Aus **Bild E2** geht hervor, dass mit zunehmender Betondruckfestigkeit das verursachte Treibhauspotenzial pro m³ Beton zunimmt. Bezogen auf die Betondruckfestigkeit nimmt jedoch das spezifische Treibhauspotenzial von Beton mit steigender Druckfestigkeitsklasse ab (s. a. **Tabelle E6**). Die korrekte Beurteilung der Umweltwirkungen eines Baustoffes kann demnach nur im Zusammenhang mit der konkreten Bauaufgabe und den dortigen Randbedingungen – also auf Gebäudeebene – getroffen werden.

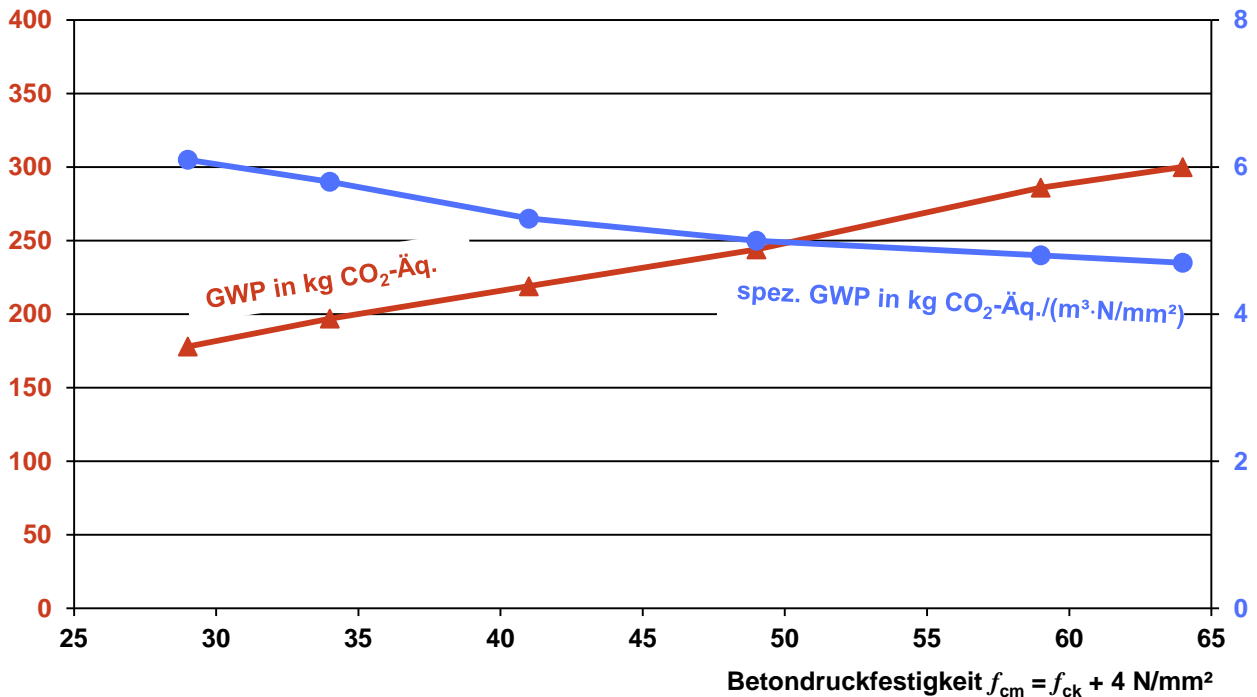


Bild E2: Zusammenhang zwischen Betondruckfestigkeit und Treibhauspotenzial (GWP) bzw. leistungsbezogenem Treibhauspotenzial (spez. GWP); Werte aus Tabelle E5, Zeile 5 und Tabelle E6, Zeile 5

Im Rahmen des Concrete Sustainability Council (CSC) wurde ein weltweites Zertifizierungssystem eingeführt, das Unternehmen im Bereich Beton, Zement und Gesteinskörnung Aufschluss darüber geben soll, inwieweit bei der Herstellung von Beton ökologisch, sozial und ökonomisch verantwortlich operiert wird (CSC-Betonzertifikat). Das CSC arbeitet in der Umsetzung mit sogenannten regionalen Systembetreibern. In Deutschland hat diese Aufgabe der Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie (BTB) übernommen und betreibt dieses System (Quelle: www.csc-zertifizierung.de).

Neu hinzukommen wird in Kürze ein „CO₂-Modul“ als freiwilliges, ergänzendes Zusatzmodul zum CSC-Betonzertifikat. Sein Ziel ist es, Transparenz hinsichtlich der mit der Betonherstellung verbundenen Treibhausgasemissionen zu schaffen und CO₂-reduzierte Betone in 4 CO₂-Klassen einzuteilen (s. **Tabelle E7**).

Tabelle E7: CO₂-Klassen gemäß [26]

CO ₂ -Klasse	Beschreibung
Level 1	Reduzierung der Treibhausgasemissionen um mindestens 30 % gegenüber einem Durchschnittsbeton mit CEM I
Level 2	Reduzierung der Treibhausgasemissionen um mindestens 40 % gegenüber einem Durchschnittsbeton mit CEM I
Level 3	Reduzierung der Treibhausgasemissionen um mindestens 50 % gegenüber einem Durchschnittsbeton mit CEM I
Level 4	Reduzierung der Treibhausgasemissionen um mindestens 60 % gegenüber einem Durchschnittsbeton mit CEM I

Das CO₂-Modul ist eine Zertifizierung auf Produktebene und ersetzt nicht eine Umweltproduktdeklaration (EPD) nach DIN EN 15804.

CO₂-Reduzierte Betone der Levels 3 und 4 sind heute nur in ganz wenigen Ausnahmefällen nach den gültigen bauaufsichtlichen Regelwerken umsetzbar. Mögliche Einschränkungen bezüglich der Dauerhaftigkeit des Betons, der Bauausführung und Verfügbarkeit von geeigneten Ausgangsstoffen sind zu berücksichtigen. Die Durchführbarkeit ist in jedem Projekt einzeln mit dem Betonhersteller zu klären.

Berlin, 29. Oktober 2021

gez.
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rolf Breitenbücher (Vorsitzender des DAfStb)