



Nachhaltig Bauen. Mit Beton.

Klimaeffizient.
Ressourcenschonend.
Energiesparend.



Vorwort

Die Frage, wie wir in Zukunft bauen, ist eine ganz entscheidende. Auch hier wird sich zeigen, ob es uns als Gesellschaft gelingt, die großen Herausforderungen unserer Zeit – Klimaschutz, Ressourcenschonung, Energiewende – erfolgreich zu meistern. Dies gilt insbesondere angesichts des gesellschaftlichen Bedarfs an Wohnraum sowie an neuen Infrastrukturen für die Zukunft. Ein „Weiter so“ ist keine Option. Vielmehr gilt es, im Hinblick auf das Entwerfen, Planen, Ausschreiben, Herstellen und Bauen ganz neue Wege zu gehen. Dies erfordert von allen Beteiligten Mut, Pragmatismus, Offenheit für Neues und die Bereitschaft, aufeinander zuzugehen.

Die Zement- und Betonhersteller in Deutschland stellen sich dieser Verantwortung und bringen sich aktiv in den Dialog entlang der Wertschöpfungskette Bau ein. Mit ihrer CO₂-Roadmap von 2020 sowie der 2022 erschienenen Ressourcenroadmap zeigen sie auf, wie eine klimaneutrale, ressourcenschonende Herstellung und Anwendung von Zement und Beton erreichbar ist. Auch wenn manche Technologien derzeit noch entwickelt werden, gibt es bereits heute viele Möglichkeiten, beim Einsatz von Zement und Beton in Bauwerken große Einsparungen an CO₂, Ressourcen und Energie zu erreichen.

Vor diesem Hintergrund beantwortet die vorliegende Publikation die Frage, wie Architektinnen und Architekten, Planende und Bauausführende bereits heute Zement und Beton klimagerecht, ressourcenschonend und energieeffizient einsetzen können. Diese Publikation fügt sich dabei in ein umfangreiches, neues Informationsangebot des Informationszentrums Beton zum Thema „Nachhaltig Bauen“ ein.

Düsseldorf/Berlin, April 2023

Inhalt

Vorwort	01	Klimaeffizient Bauen mit Beton	10
Klimaeffizient. Ressourcenschonend. Energiesparend.	04	CO ₂ -effiziente Zemente und Betone verwenden	12
Nachhaltig Bauen – Worauf kommt es an?	06	CO ₂ -effiziente Bauteile und Konstruktionen aus Beton planen	16
Nachhaltigkeit – ganzheitlich über den Lebenszyklus betrachten	08	Recarbonatisierung – Beton als CO ₂ -Speicher nutzen	20



Ressourcenschonend Bauen mit Beton

24

Beton in den Materialkreislauf zurückführen	26
Wiederverwendung von Materialien und Bauteilen mitdenken	30
Nutzungsdauer von Gebäuden verlängern	32
Materialsparende Bauteile und Konstruktionen aus Beton planen	34

Energiesparender Beton

36

Energiesparen dank hoher Wärmespeicherfähigkeit von Beton	38
Heizen und Kühlen mit Beton – effizient und erneuerbar	40
Ausblick	42
Wege zur Klimaneutralität ...	42
... und zur Ressourcenschonung	44
Literatur	46



Klimaeffizient. Ressourcenschonend. Energiesparend.

Gesellschaftliche Herausforderungen gemeinsam angehen

Zement und Beton sind unverzichtbare Werkstoffe für modernes, nachhaltiges Bauen und nehmen eine Schlüsselposition in der Wertschöpfungskette Bau ein. Gemeinsam mit ihren Partnern will die Zement- und Betonindustrie auch in Zukunft an der Lösung gesellschaftlicher Herausforderungen, wie z. B. der Schaffung bezahlbaren, klimagerechten Wohnraums und der zukunftsfähigen Verkehrs-, Energie- und Digitalinfrastruktur, mitwirken.

Zement und Beton als Teil der Lösung

Für den notwendigen, tiefgreifenden Transformationsprozess in Wirtschaft und Gesellschaft sind von allen Seiten Mut, Pragmatismus und die Bereitschaft zu großen Veränderungen gefordert. Die deutschen Zement- und Betonhersteller bringen sich aktiv in diesen Prozess ein und wollen ihren Beitrag zur Klimaneutralität und Kreislaufwirtschaft leisten. Dabei setzen sie auf das Miteinander aller am Bau Beteiligten, um die innovativen Lösungen von heute und morgen auch in die Baupraxis zu bringen.

Fahrplan zur Klimaneutralität und Ressourcen- schonung

Eine klimaneutrale Betonbauweise ist möglich. Welche Schritte dazu notwendig sind, zeigt die CO₂-Roadmap der deutschen Zementindustrie aus dem Jahr 2020. Gleichzeitig bieten Zement und Beton große Potenziale für das kreislauffähige Bauen der Zukunft: Mit lokalen, heimischen Roh- bzw. Ausgangsstoffen entstehen vollständig recyclingfähige, sehr langlebige Produkte. Welche Stoffkreisläufe und Ressourceneinsparungen hier konkret denkbar sind, beschreibt die im November 2022 erschienene Ressourcenroadmap.

Der Weg in die Klimaneutralität 2045

CO₂-Emissionen der deutschen Zementindustrie

Neue
Zemente

Brennstoffmix und
Ressourceneffizienz

Was bei Planung und Ausführung von Bauwerken heute schon möglich ist

Ausgehend vom Ziel einer klimaneutralen Zement- und Betonherstellung bis 2045 gibt der vorliegende Leitfaden einen kompakten Überblick über die Möglichkeiten, die Architektinnen und Architekten, Planende und Bauausführende bereits heute nutzen können, um den CO₂-Fußabdruck und den Ressourceneinsatz der Betonbauweise zur Errichtung nachhaltiger Bauwerke deutlich zu reduzieren. Er zeigt auf, mit welchen Maßnahmen und Entscheidungen in der Planung die Nachhaltigkeitspotenziale von Beton bestmöglich umgesetzt werden können: Baustoffauswahl, Konstruktion, Nutzungsphase und Lebensende werden betrachtet.

Nach einem einführenden Überblick „Nachhaltig Bauen – Worauf kommt es an?“ stellen die Kapitel „Klimaeffizient Bauen mit Beton“, „Ressourcenschonend Bauen mit Beton“ und „Energiesparender Beton“ vor, mit welchen konkreten Schritten Einsparungen an CO₂, Ressourcen oder Energie schon jetzt erreicht werden können und in welchem Umfang. Abschließend gibt es eine Vorausschau, wie die Klimaneutralität bis 2045 zu erreichen ist und welche Potenziale in der Einsparung von Primärrohstoffen möglich sind.



Dekarbonisierung von Zement und Beton – Minderungspfade und Handlungsstrategien. Eine CO₂-Roadmap für die deutsche Zementindustrie.

Mehr Infos:

www.vdz-online.de/dekarbonisierung



Ressourcen der Zukunft für Zement und Beton – Potenziale und Handlungsstrategien

Mehr Infos:

www.vdz-online.de/ressourcenschonung

CO₂-effiziente
Zemente

heute

Carbon Capture,
Storage & Utilisation

Ressourcen-
schonender
Einsatz von Beton

2025

2035

2045

Nachhaltig Bauen – Worauf kommt es an?

Um dem Anspruch an nachhaltiges Bauen gerecht zu werden, können bereits bei der Planung eines Projekts wichtige Weichen gestellt werden. Dabei gilt es, verschiedene Faktoren zu berücksichtigen, die die Ökobilanz eines Bauwerks über den Lebenszyklus besonders beeinflussen. Für Planende, Architektinnen und Architekten sind erfahrungsgemäß die in der Grafik dargestellten Themen besonders wichtig.

Die Betonbauweise kann zu vielen Aspekten der Nachhaltigkeit einen wichtigen Beitrag leisten. Auch wenn bis zu klimaneutralem Zement und Beton noch große Schritte notwendig sind, ist es heute bereits für viele Anwendungen möglich, den CO₂-Fußabdruck von Betonen sowie von Betonkonstruktionen/-bauteilen um rund 20% gegenüber der heute durchschnittlichen CO₂-Intensität zu reduzieren. Dies entspricht einer Reduzierung um ca. 30 bis 40% gegenüber mit Portlandzement (CEM I) hergestellten Betonen.

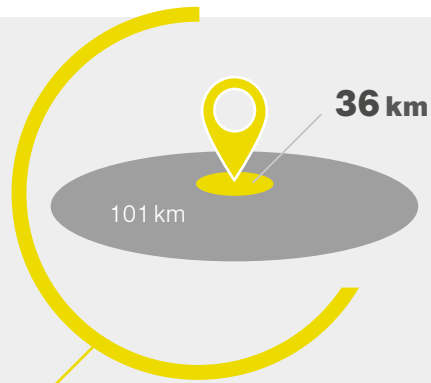
Wie das geht, wird im Kapitel „Klimaeffizient Bauen mit Beton“ erklärt. Zement und Beton können auch bei den anderen Nachhaltigkeitsfaktoren punkten. Sie werden aus heimischen Rohstoffen gewonnen, zeichnen sich durch kurze Transportwege aus, sind vollständig recycelbar und weisen eine lange Lebensdauer bei hoher Leistungsfähigkeit auf. Dadurch können in erheblichem Umfang Ressourcen eingespart werden, wie das Kapitel „Ressourcenschonend Bauen mit Beton“ zeigt. Konstruktionen und Bauteile aus Beton bieten zudem thermische Vorteile bei der Gebäudenutzung. Sie ermöglichen eine Reduzierung des Energiebedarfs beim Betrieb des Gebäudes und sorgen jahreszeitenunabhängig für ein angenehmes Raumklima. Durch die gezielte Aktivierung von Betonbauteilen zum Heizen und Kühlen können sie darüber hinaus einen wichtigen Beitrag zur Integration erneuerbarer Energien für die Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden leisten. Mehr zu den energetischen Potenzialen der Betonbauweise im Kapitel „Energiesparender Beton.“

Häufig verwendete Abkürzungen und ihre Bedeutung:

- THG:** Treibhausgase
- GWP:** Global Warming Potential – Treibhauspotenzial. Sagt aus, wieviel ein Produkt zur Erderwärmung in kg CO₂-Äquivalent beiträgt.
- EPD:** Environmental Product Declaration – Umweltproduktdeklaration. Enthält quantifizierte umweltbezogene Informationen über den Lebenszyklus eines Produktes.
- LCA:** Life Cycle Assessment – Lebenszyklusanalyse. Analysiert die potenziellen Umweltwirkungen und die Energiebilanz eines Produktes über seinen gesamten Lebensweg.
- CCU:** Carbon Capture and Utilisation – Bezeichnet die Abscheidung und anschließende Nutzung von Kohlenstoffdioxid als Rohstoff.
- CCS:** Carbon Capture and Storage – Bezeichnet die Abscheidung und anschließende Speicherung von Kohlenstoffdioxid.
- CSC:** Concrete Sustainability Council – Internationales Zertifizierungssystem für die Nachhaltigkeit von Beton, Zement, Zusatzstoffen und Gesteinskörnungen.
- DGNB:** Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen

Regionalität

Die durchschnittliche LKW-Transportdistanz für die Rohstoffe von Zement und Beton beträgt 36 km, die LKW-Transportdistanz im deutschen Güterverkehr durchschnittlich 101 km.*



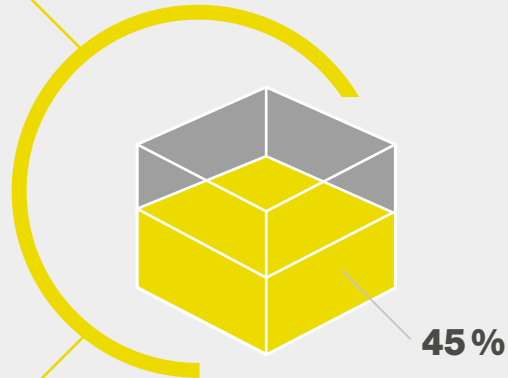
CO₂-Reduzierung

Durch den Einsatz CO₂-effizienter Zemente im Beton lassen sich heute 20% CO₂ und mehr gegenüber dem Durchschnitt einsparen.



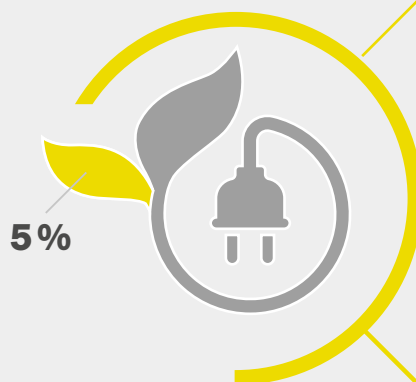
Recyclbarkeit

Bis zu 45% der Gesteinskörnung im Beton können ohne Zulassung mit Betonbruch substituiert werden.



Energieeinsparung

Durch die thermische Speicherefähigkeit des Betons lässt sich der Heizenergiebedarf um ca. 5% gegenüber einem Gebäude in Leichtbauweise reduzieren.



Langlebigkeit

Betontragwerke haben oft eine zu erwartende Lebensdauer von 100 Jahren und mehr.



Nachhaltigkeit – ganzheitlich über den Lebenszyklus betrachten

Die Erreichung eines klimaneutralen Gebäudebestands und damit auch die Dekarbonisierung der vorgelagerten Herstellungs- und Logistikprozesse ist neben dem Ressourcenverbrauch die zentrale Herausforderung des Bauens. Die verschiedenen Phasen des Lebenszyklus gehen dabei mit einem unterschiedlich hohen CO₂-Fußabdruck in die Ökobilanz eines Gebäudes ein. Dieser verteilt sich laut einer aktuellen Untersuchung der DGNB (2021) von 50 mehrgeschossigen Büro- und Wohngebäuden durchschnittlich zu rund 35 % auf die Herstellung der Materialien und zu ca. 65 % auf den Energieeinsatz während der Nutzung der Gebäude.

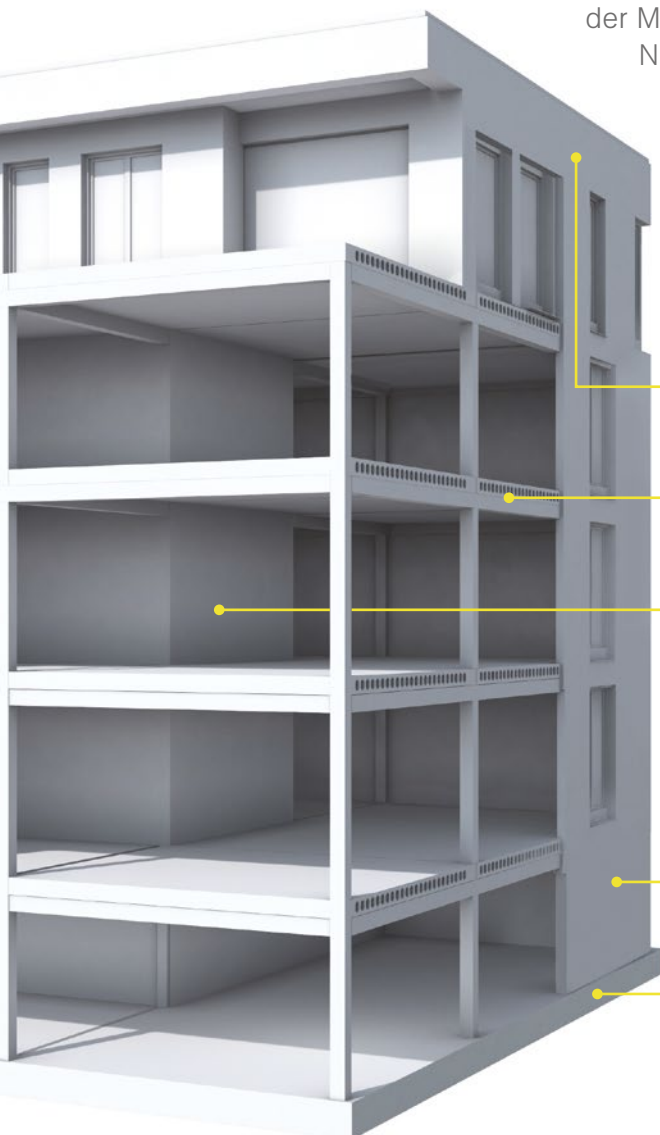


Abb. 1: CO₂-Fußabdruck der Konstruktion nach Bauteilen inklusive sämtlicher Aufbauten [1]

Dächer	7%
Decken	37%
Innenwände	15%
Außenwände	22%
Gründung	19%

100% = 7,37 kg CO₂-Äq/(m²NRF*a)

Anmerkung: NRF = Netto-Raum-Fläche; a = 50 Jahre

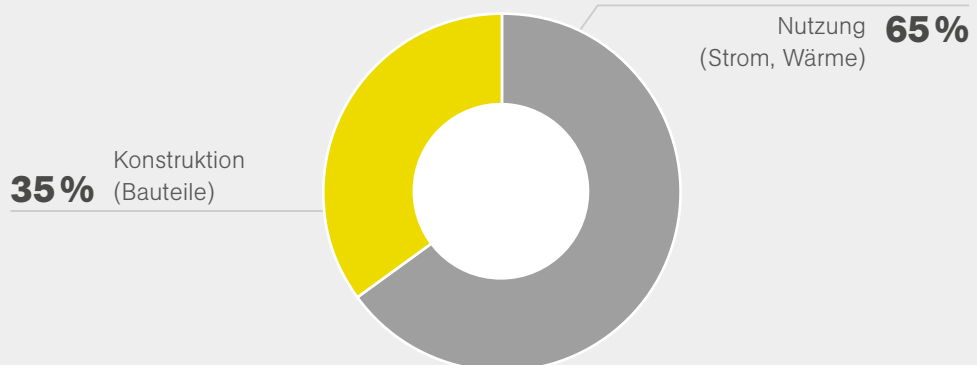
Je nach Gebäude und Bauweise können diese Werte variieren, sie geben aber eine Orientierung, um Potenziale für CO₂- und Ressourceneinsparungen über alle Stufen des Lebenszyklus bereits in der Planung zu bewerten. Dabei stammen die „grauen Emissionen“ der Konstruktion eines Gebäudes in Massivbauweise in der Regel schwerpunktmäßig aus dem Tragwerk und der Gebäudegründung [2]. Die nachfolgend dargestellten Maßnahmen zur CO₂-Optimierung von Bauteilen aus Beton beziehen sich daher vor allem auf Decken, Außenwände, Innenwände, erdberührte Bauteile sowie die Gründung. Dächer, Fassaden sowie die technische Gebäudeausstattung tragen ebenfalls zu den CO₂-Emissionen bei, werden hier aber nicht näher betrachtet.

Der Wärme- und Strombedarf während der Betriebsphase von Gebäuden ist heute meist für den größten Anteil der Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) verantwortlich. Bei den von der DGNB (2021) ausgewerteten Gebäuden entstehen bei der Nutzung über einen Lebenszyklus von 50 Jahren Emissionen in Höhe von 25 kg m²NRF*a, die Herstellung der Konstruktion kommt auf etwa 7,5 kg m²NRF*a.

Die Bewertung der Nachhaltigkeit von Bauwerken muss daher über den gesamten Lebenszyklus erfolgen, auch wenn mit zunehmender Dekarbonisierung der Energieversorgung die Bedeutung des Betriebs an den Lebenszyklusemissionen abnehmen wird. Zudem sind weitere Aspekte der Nachhaltigkeit nicht zu vernachlässigen, wie z. B. die Potenziale zur Ressourcenschonung, der Einfluss verschiedener Bauweisen auf die Biodiversität und den Umweltschutz oder der Beitrag kurzer Lieferketten zur regionalen Wertschöpfung vor Ort.

Das folgende Kapitel „Klimaeffizient Bauen mit Beton“ zeigt, wie der CO₂-Fußabdruck der Betonbauweise bereits heute durch entsprechende Entscheidungen von Planenden, Architektinnen und Architekten bei der Konstruktion und Auswahl des Betons deutlich gesenkt werden kann.

Abb. 2: Verteilung der CO₂-Emissionen eines Gebäudes über den Lebenszyklus



Klima effizient Bauen mit Beton

Den CO₂-Fußabdruck
schon heute senken!

Die CO₂-Emissionen der Konstruktion machen einen relevanten Anteil der Gesamtemissionen eines Bauwerks über den Lebenszyklus aus. Die Optimierung der Bauteile bietet deshalb ein großes CO₂-Minderungspotenzial. So können durch die Verwendung CO₂-effizienter Zemente oder materialsparender Konstruktionsweisen Emissionen reduziert werden. Auch hat Beton die Eigenschaft, CO₂ aus der Umgebungsluft aufzunehmen und dauerhaft zu binden.

Inhaltlicher Überblick:

CO ₂ -effiziente Zemente und Betone verwenden	12
CO ₂ -effiziente Bauteile und Konstruktionen aus Beton planen	16
Recarbonatisierung – Beton als CO ₂ -Speicher nutzen	20

Signifikante CO₂-Einsparungen

Im mehrgeschossigen Hochbau bietet der Einsatz von CO₂-effizienten Zementen im Beton erhebliches Einsparpotenzial.

20%

CO₂-Einsparung pro m³ Beton
ggü. Durchschnitt

Einsatz auf allen Ebenen

CO₂-effiziente Zemente und Betone lassen sich in allen typischen Anwendungsbereichen des Hochbaus einsetzen.

CO₂-effiziente Zemente und Betone verwenden

Die Herstellung von Beton in Deutschland ist je nach geforderter Leistungsfähigkeit im Mittel mit einem CO₂-Fußabdruck von 180 kg bis ca. 300 kg pro m³ verbunden. Die CO₂-Intensität hängt dabei in erster Linie vom eingesetzten Zement und seinem Anteil an gebranntem Kalkstein (Portlandzementklinker) ab. Die Emissionen aus der Aufbereitung der Gesteinskörnungen und der Verwendung der weiteren Ausgangsstoffe sowie aus Transporten spielen eine untergeordnete Rolle. Insofern ist der Einsatz CO₂-effizienter Zemente im Beton ein entscheidender Hebel bei der Dekarbonisierung der Betonbauweise.

CO₂-effiziente Zemente und Betone können in fast allen typischen Anwendungsbereichen des Hoch- und Tiefbaus verwendet werden. Das Minderungspotenzial ist vor allem bei Innenbauteilen und üblichen Außenbauteilen des Hochbaus groß, denn dort werden rund 60–80% des Transportbetons in Deutschland eingesetzt [3]. Diese Betonanwendungen sind in der Regel geringen bzw. moderaten Umwelteinwirkungen ausgesetzt, sodass sie sich sehr für den Einsatz besonders CO₂-effizienter Zemente im Beton eignen. Hierdurch lassen sich ohne technische Einschränkungen bereits heute CO₂-Einsparungen von ca. 20% pro m³ Beton im Vergleich zum Durchschnitt erreichen.

Mit welchen Zementen im Beton lassen sich diese Einsparungen erreichen?

Hier sind z. B. Betone auf der Basis von CEM III/A- oder neuen CEM II/C-M (S-LL)-Zementen besonders relevant. Sie verbinden zwei Vorteile: signifikante CO₂-Einsparungen und ein breites Spektrum von Bauanwendungen. Im mehrgeschossigen Hochbau bietet der Einsatz dieser CO₂-reduzierten Betone in vergleichsweise CO₂-intensiven konstruktiven Bauteilen wie Decken, Wänden sowie bei Bodenplatten und Fundamenten erhebliches Einsparpotenzial. Für ausgewählte Anwendungen und Innenbauteile kann

künftig der Einsatz besonders CO₂-effizienter CEM VI-Zemente eine Lösung sein. Diese werden derzeit entwickelt (s. Abb.3).

Mit Blick auf die Planung, Ausschreibung und Vergabe ist es wichtig, diese CO₂-effizienten Zemente und Betone gezielt am Markt nachzufragen.

Beton klimaschutz.konfigurator

Der Klimaschutz-Konfigurator zeigt Architektinnen, Architekten und Planenden mit wenigen Klicks, wie sie verschiedene Betonbauteile im Hochbau CO₂-effizient planen können. Dabei vergleicht er unterschiedliche Betonfestigkeitsklassen und Zementarten, um das Treibhauspotenzial und mögliche CO₂-Einsparungen abzuschätzen. Der Klimaschutz-Konfigurator ist kostenfrei und über die Nachhaltigkeitswebsite des InformationsZentrum Beton erreichbar.

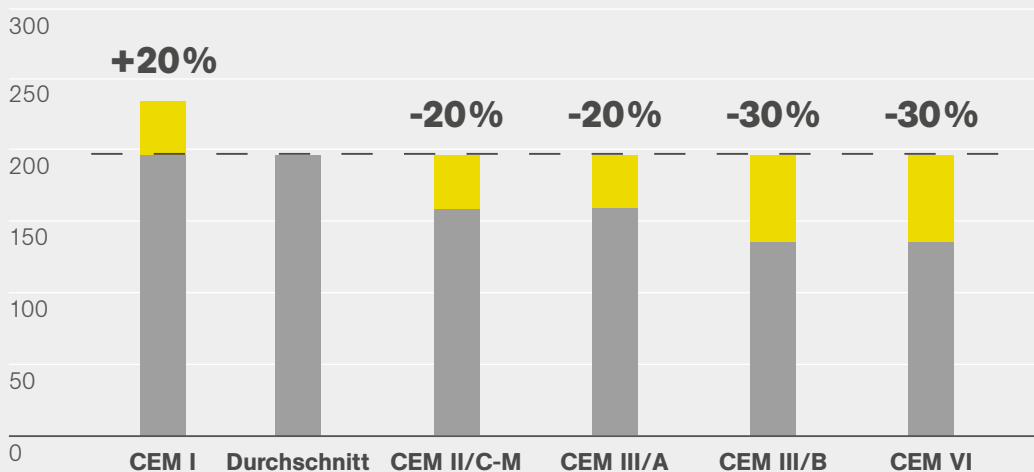


Mehr Infos:

www.nachhaltig-bauen-mit-beton.de

Abb. 3: CO₂-Fußabdruck von Beton (C25/30) mit verschiedenen Zementen in kg CO₂-Äq/m³

■ = Differenz gegenüber Durchschnitt in %



Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis von EPDs für Beton C25/30 und die genannten Zementarten.

„Durchschnitt“ entspricht dem durchschnittlichen Beton der Festigkeitsklasse C25/30 in Deutschland (EPD 2018).

CEM I ist Branchenreferenzwert in CSC (EPD 2017).

Annahme CEM II/C-M: Klinker 50%, Hüttensand 30%, Kalkstein 20%.

CEM III/A (EPD 2022).

Annahme CEM III/B: Klinker: 29,5%, Hüttensand: 69,5%, Kalkstein: 1%.

CEM VI heute noch nicht verfügbar, voraussichtlich in größeren Anteilen erst ab 2030.

Eine gute Orientierung über die CO₂-Minderung bei Betonen verschiedener Betondruckfestigkeitsklassen durch den Einsatz von Zementen mit reduziertem Klinkeranteil bietet das CO₂-Modul des Concrete Sustainability Council. Es definiert bezogen auf den Branchenreferenzwert vier CO₂-Klassen anhand der spezifischen THG-Emissionen pro m³ Beton in der jeweiligen Festigkeitsklasse des Betons. Betone der CO₂-Klasse „Level 1“ entsprechen einer Einsparung gegenüber der Referenz um 30%, „Level 2“ um 40%, „Level 3“ um 50% und „Level 4“ um 60%. Betone der Level 1 und 2 sind in der Regel in Innenbauteilen und üblichen Außenbauteilen des Hochbaus einsetzbar und in den meisten Regionen bereits heute verfügbar.

Die Darstellung des spezifischen CO₂-Fußabdrucks pro m³ Beton macht deutlich, dass der Einsatz von Betonen mit einer eher geringen Festigkeiten Einsparungen ermöglicht. Voraussetzung hierfür ist eine entsprechend differenzierte Bemessung. Gleichzeitig können auch CO₂-optimierte Bauteile durch Betone mit hohen Festigkeiten erreicht werden, sofern die höhere Leistungsfähigkeit in schlankere Bauteile und eine reduzierte Betonmenge umgesetzt wird. Wichtig ist, die Leistungsfähigkeit der Betone, z. B. die Druckfestigkeit, möglichst vollständig auszunutzen (s. Tab. 1).

Das Concrete Sustainability Council (CSC) fördert die Transparenz über den Herstellungsprozess von Beton und dessen Wertschöpfungskette sowie die Auswirkungen auf das soziale und ökologische Umfeld. Die CSC-Zertifizierung führt so zu einer kontinuierlichen Steigerung im nachhaltigen Wirtschaften der Zement-, Rohstoff- und Betonindustrie. Mit den weltweit wachsenden Anforderungen an die Nachhaltigkeit von Baustoffen hat das CSC sein Zertifizierungssystem weiterentwickelt. Nach Einführung eines so genannten „R-Moduls“ für den Einsatz von Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen hat das CSC seit Anfang 2022 ein CO₂-Modul eingeführt. Ziel ist es, die Transparenz über die mit der Betonherstellung verbundenen Emissionen an Treibhausgasen zu erhöhen.



Mehr Infos:

www.csc-zertifizierung.de

Tab. 1: THG-Emissionen pro m³ Beton nach Festigkeitsklasse und CO₂-Klassen

	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C45/55	C50/60
CO ₂ -Klassen	Maximal zulässige Treibhausgasemissionen (netto kg CO ₂ -Äq./m ³)					
Branchenreferenzwert	213	237	261	286	312	325
GWP-Wert für einen Durchschnittsbeton (informativ)	178	197	219	244	286	300
LEVEL 1 (≥ 30%)	149	166	183	200	218	228
LEVEL 2 (≥ 40%)	128	142	157	172	187	195
LEVEL 3 (≥ 50%)	107	119	131	143	156	163
LEVEL 4 (≥ 60%)	85	95	104	114	125	130

Quelle: CSC. Angegeben sind die Werte der Module A1 – A3.

Innovationen

Neue Bindemittel

Weltweit wird – zum Teil bereits seit Langem – daran gearbeitet, alternative Klinker bzw. Bindemittelsysteme möglichst mit geringen spezifischen CO₂-Emissionen und vergleichbarer Leistungsfähigkeit sowie Verfügbarkeit wie Portlandzementklinker herzustellen. Die Forschungen befinden sich jedoch vielfach noch im Laborstadium. Die Marktentwicklung wird in diesen Fällen Zeit für die sorgfältige technische und praktische Erprobung und Untersuchung der langfristigen Eignung erfordern. Erste Demonstrationsprojekte und auch praktische Anwendungen wurden auf den Weg gebracht. Aus heutiger Sicht werden sich die Bindemittel vor allem für spezielle Anwendungsfelder eignen. U. a. auch deshalb, weil diese Bindemittel zum Teil Rohstoffe benötigen, die überregional nicht in den erforderlichen Mengen zur Verfügung stehen. Darüber hinaus sind Unterschiede in der technischen Leistungsfähigkeit dieser Bindemittel und der damit verbundenen Einsatzmöglichkeiten in Bauwerken zu berücksichtigen.

Klimaneutrale Zemente mithilfe der CO₂-Abscheidung

Um klimaneutrale Zemente und Betone herzustellen, müssen die rohstoffbedingten Prozessemissionen vollständig vermieden werden. Dies ist mit heute verfügbaren Technologien noch nicht möglich. Deshalb arbeiten die deutschen Zementhersteller und der VDZ seit rund 15 Jahren an der Abscheidung von CO₂ im Zementwerk und dessen anschließender Nutzung oder Speicherung (Carbon Capture and Utilisation/Carbon Capture and Storage). Erste Pilot- und Demonstrationsanlagen in Deutschland gehen aktuell in Betrieb, weitere werden in den nächsten Jahren folgen. Ab 2030 könnten laut der CO₂-Roadmap der Branche rund 1 Mio. Tonnen CO₂ durch dessen Nutzung als Rohstoff oder dessen Speicherung reduziert werden – damit werden mittelfristig auch klimaneutrale Zemente und Betone verfügbar sein.

CO₂-effiziente Bauteile und Konstruktionen aus Beton planen

Bauteile mit optimiertem Betoneinsatz können bei einer für den jeweiligen Anwendungszweck angemessenen Leistungsfähigkeit dazu beitragen, Ressourcen und CO₂ einzusparen.

Folgenden Maßnahmen kommen aus heutiger Sicht eine besondere Bedeutung zu:

- › Mit vorgespannten Decken und hochfesten Betonen lassen sich geringe Deckendicken auch bei großen Spannweiten realisieren.
- › Deckensysteme mit Hohlräumen/Hohlkörpern in statisch nicht wirksamen Bereichen vermindern die notwendige Betonmenge.
- › Skelettbauweisen bzw. Stockwerkrahmen können oft zur Verminderung der Bewehrungsmengen beitragen.
- › Schlanke Stützenquerschnitte sind z. B. unter Verwendung hochfester Betone möglich.

Spannbeton-Fertigdecken benötigen gegenüber anderen Betondeckensystemen bei vergleichbaren statischen Anforderungen an die Decke bis zu 40% weniger Beton und bis zu 75% weniger Stahl. Auch eine Reduzierung der Bauteildicke durch Minderung der Betondeckung ist möglich. Spannweiten von 7 m können bei 15 cm Deckendicke oder 18 m bei 40 cm Deckendicke erreicht werden. Auch durch den Einsatz von Hohlkörpern lässt sich der Materialaufwand deutlich reduzieren, ohne die Tragfähigkeit zu beeinflussen (Hohldecken). Die Integration von Heizungs-

und Lüftungsleitungen ist möglich, ebenso die Betonkern-Aktivierung. Spannbeton-Fertigdecken eignen sich auch für den Holz-Beton-Hybridbau, um insbesondere die Anforderungen an Schallschutz und Brandschutz wirtschaftlich zu erfüllen.

Eine weitere Möglichkeit zur Herstellung gewichtsminderter, vorgefertigter Deckensysteme ergibt sich durch vorgespannte **Sandwichdecken**. Zwei äußere Betonschalen sowie dazwischen angeordnete Betonrippen gewährleisten die statischen Anforderungen. Zwischen den Rippen werden Verdrängungskörper angeordnet, wo statisch kein Beton erforderlich ist. Die untere Sandwichplatte und die Rippen werden vorgefertigt. Auf der Baustelle werden die Leitungen der Gebäudetechnik und die obere Beton-Sandwichplatte ergänzt. Das System ermöglicht eine flexible Raumaufteilung für unterschiedliche Nutzungsanforderungen. Möglich sind Spannweiten bis 20 m und Gewichtseinsparungen bis 50% im Vergleich zu Massivdecken. Sandwichdeckensysteme sind als Fertigteil oder Halbfertigteil verfügbar.

Auch **Ortbeton-Hohldecken** lassen vergleichbare Einsparungen zu (bis 35% Betonreduktion, bis 15% Stahlreduktion, bis 20% geringerer CO₂-Fußabdruck). Mit 20 cm bis 80 cm Bauteildicke zeigt sich die große Flexibilität der Hohldeckensysteme. Gerade bei größeren Spannweiten kann durch Einbau von Hohlkörpern, z. B. aus Recyclingkunststoff,

Spannbeton-Fertigdecke

Die Hohldecke ist eine weitverbreitete Sonderform der Spannbetondecke.

Sandwichdecke

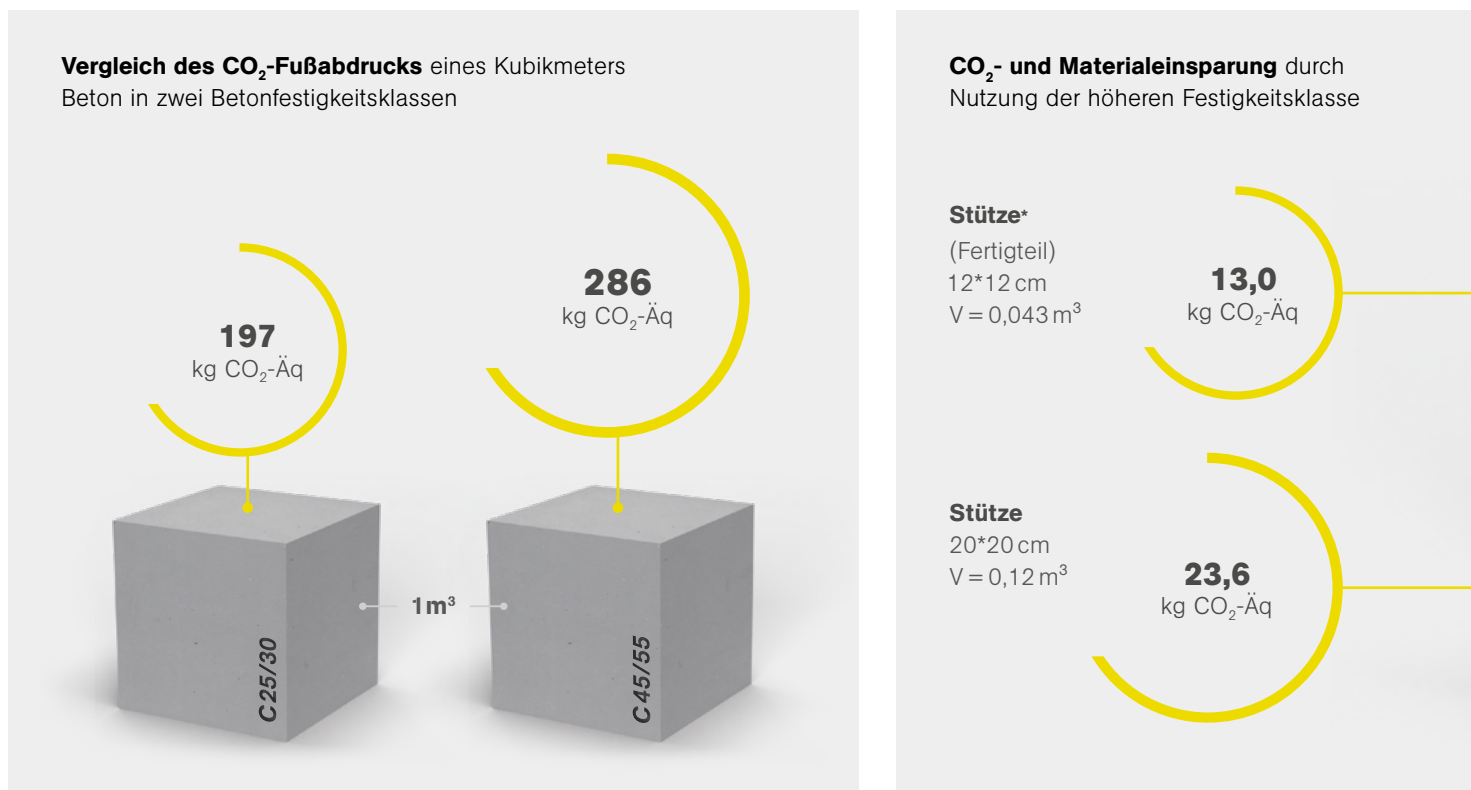
Kann als Fertigteil oder Halbfertigteil verbaut werden. Die Hohlräume können u. a. für Haustechnik genutzt werden.

Ortbeton-Hohldecke

Durch Verdrängungskörper zwischen den Bewehrungslagen lassen sich die verbaute Betonmasse und das Bauteilgewicht reduzieren.



Abb. 4: CO₂-Effizienz von Bauteilen mit hoher Druckfestigkeit am Beispiel Stützen



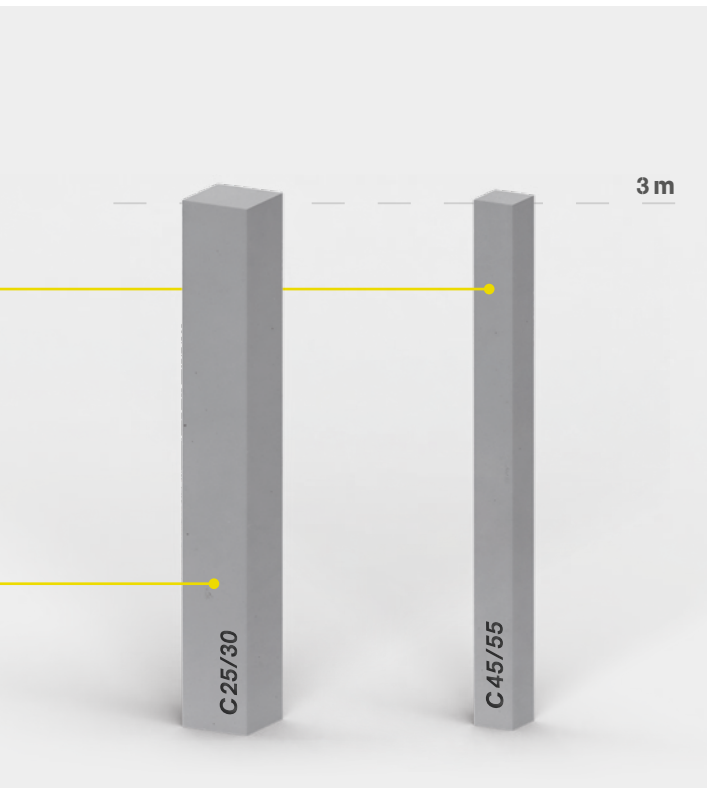
in statisch gering beanspruchten Deckenbereichen das Gewicht der Decke reduziert werden. Durch das geringere Eigengewicht kann die Deckendicke reduziert oder die Spannweite vergrößert werden. Außerdem werden die lastabtragenden Bauteile weniger beansprucht. In den letzten Jahren wurde eine Reihe unterschiedlicher Hohlköpersysteme entwickelt. Auch nach dem Rückbau von Ortbeton-Hohldecken kann mit einfachen Aufbereitungsmethoden (unterschiedliche Rohdichte Beton/Kunststoff/Papier) eine Trennung der Materialien erreicht werden, die als recyceltes Material wieder dem Stoffkreislauf zugeführt werden können.

Hybride Bauweisen aus Holz und Beton im Verbund (HBV) können aus wirtschaftlicher und technischer Sicht eine sinnvolle Lösung sein. Möglich sind im Neubau Rippen- und Flachdecken, bei denen Holzbalken oder Holzplatten mit zwischen 6 cm und 12 cm dicken Betonplatten auf der Baustelle oder im Fertigteilwerk schubfest verbunden werden. Holz wirkt als Zuggurt, Beton als Druckgurt. Die HBV-Bauweise ist zurzeit eine nicht geregelte Bauweise im Sinne der Landesbauordnungen, d. h. für die schubfeste Verbindung von Holz und Beton ist eine Europäische Technische Bewertung (ETA)

bzw. eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) erforderlich. Eine Aufnahme der Bauweise in den Eurocode 5 [4] wird vorbereitet. HBV-Decken können im Neubau, aber auch im Altbau zur Ertüchtigung von Holzdecken deutliche Verbesserungen der statischen und bauphysikalischen Eigenschaften erreichen.

Tragende Betonfertigteile

Bei der Bemessung und Herstellung von Betonfertigteilen können eine Reihe von Vorteilen genutzt werden, weil die Fertigung unter werksmäßigen Bedingungen mit hoher Qualität und ohne direkte Witterungseinflüsse stattfinden kann. Vor der Auslieferung der Fertigteile erfolgt die Qualitätskontrolle der Bauteile. Bei entsprechender werkseitiger Qualitätskontrolle können beispielsweise die Betondeckung und bei Fertigteilstützen der notwendige Querschnitt reduziert werden. In vielen Fällen werden für Betonfertigteile Betone einer höheren Festigkeitsklasse verwendet. Auch wenn Betone höherer Festigkeitsklassen mehr CO₂ pro m³ Beton bedeuten, kann durch die Reduzierung des Bauteilquerschnitts sowie bessere Ausnutzung der Druckfestigkeit der absolute CO₂-Fußabdruck des Bauteils häufig gesenkt werden.



Quelle: GWP-Werte gemäß Tabelle 1

Unbewehrte Betone oder Verringerung der Bewehrungsmenge

Der Bewehrungsstahl im Stahlbeton hat in Deutschland einen durchschnittlichen CO₂-Fußabdruck von rd. 260 kg CO₂/m³ Stahlbeton. Unbewehrte oder gering bewehrte Bauteile können sich damit – wenn statisch möglich – positiv auf die Klimabilanz des Bauwerks auswirken. Druckbeanspruchte Bauteile aus Beton werden heute üblicherweise bewehrt ausgeführt. Dies ist nicht immer zwingend notwendig.

Unbewehrte Wände können gegenüber bewehrten Bauweisen einen deutlich geringeren CO₂-Fußabdruck aufweisen. Bei Streifen- und Einzelfundamenten darf gegenüber anderen unbewehrten Bauteilen ein erhöhter Bemessungswert für die Betonzugfestigkeit angesetzt werden, weil die Gefahr des spröden Versagens durch die Umlagerung des Sohldrucks reduziert wird. Auch nichttragende, unbewehrte Bodenplatten mit Anordnung von Scheinfugen werden seit vielen Jahrzehnten erfolgreich eingesetzt.

Innovationen

Innovative Verdrängungskörper und Schalungssysteme

Eine Innovation bei Ortbeton-Hohldecken stellen Verdrängungskörper aus Recyclingkarton dar, die gegenwärtig entwickelt werden. Das sogenannte Faserformmaterial besteht aus Recyclingpapier und wird bereits in der Verpackungsindustrie z. B. als Eierkarton eingesetzt [5].

Eine weitere Innovation sind freigeformte und 3D-gedruckte Deckenschalungen, mit denen Spannbeton-Rippendecken geschalt werden, die Beton nur an den statisch erforderlichen Stellen aufweisen. Die Deckensysteme werden an der Eidgenössischen Materialprüfanstalt in Zürich entwickelt, hergestellt und in einem Forschungsgebäude unter Realbedingungen getestet [6]. Diese Art der „verlorenen“ Schalung ermöglicht die Herstellung freier Deckenformen in Sichtbetonqualität.

*Bei der Bemessung und Herstellung von Betonfertigteilen kann eine Reihe von normativen Vorteilen genutzt werden, weil die Fertigung unter werksmäßigen Bedingungen mit hoher Qualität und ohne direkte Witterungseinflüsse stattfinden kann. So darf u. a. der Mindestbauteilquerschnitt für waagrecht betonierte Fertigteilstützen von 200 mm auf 120 mm vermindert werden (DIN EN 1992-1-1).



Download Typenstatik und Bemessungsprogramm für unbewehrte Wände.

Mehr Infos:

www.transportbeton.org/baustoff/projekte

NACHHALTIG BAUEN. MIT BETON.
Klimaeffizient. Ressourcenschonend. Energiesparend.


Recarbo natisierung

Beton als CO₂-Speicher nutzen

Betonoberflächen
nehmen CO₂ auf

23%

Bezogen auf die rohstoff-
bedingten CO₂-Emissionen
der Zementherstellung



Bei der Carbonatisierung von Festbeton handelt es sich um eine natürlich vorkommende chemische Reaktion, bei der CO_2 aus der Umgebungsluft in den Beton eindringt, im Zementstein reagiert und darin fest eingebunden wird.

Wenn der Beton von seiner Oberfläche her CO_2 aufnimmt und so carbonatisiert, kann dadurch die Dauerhaftigkeit des Bewehrungsstahls in Mitleidenschaft gezogen werden. Aus diesem Grund wird bei Stahl- und Spannbeton darauf geachtet, dass die Carbonatisierung durch betontechnische Maßnahmen begrenzt wird und die Stahlbewehrung nicht geschädigt werden kann. So sieht das Regelwerk beispielsweise für die Bemessung von Betontragwerken Mindestwerte für die Betondeckung der Bewehrung in Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen vor.

Letztlich nimmt Beton aber auch bei Beachtung dieser betontechnischen Randbedingungen relevante Mengen an CO_2 auf. Dies ist in der CO_2 -Bilanz von zementgebundenen Baustoffen entsprechend positiv zu bewerten, da so die CO_2 -Emissionen der Zementherstellung zum Teil kompensiert werden. Beton ist also auch ein dauerhafter CO_2 -Speicher.

Zwei Fragen bezüglich der CO_2 -Aufnahme zementgebundener Baustoffe sollen nachfolgend beantwortet werden:

- Seit mehr als 150 Jahren wird mit Beton und Zementmörtel gebaut. Wie viel CO_2 wird von unserer gebauten Umwelt in jedem Jahr gebunden? (Globaler/regionaler Ansatz, z. B. für die Klimamodellierung)
- Wie viel CO_2 wird von einem neu hergestellten Betonbauteil/Bauwerk während der Nutzungsphase und nach Ende der Nutzungsphase eingebunden? (Bauproduktbezogen, z. B. für die Ökobilanzierung)

CO₂

Einbindung von CO₂

Abhängig von der Festigkeit des Betons
und den Expositionsbedingungen

Recarbonatisierung

Bei der Recarbonatisierung handelt es sich um einen natürlichen Prozess, bei dem CO₂ im Zementstein eingebunden wird.

Globaler/Regionaler Ansatz

2021 wurde die CO₂-Aufnahme von Beton erstmalig bei der weltweiten Klimamodellierung berücksichtigt und in der wissenschaftlichen Datenbasis des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) verankert. Es wird dort davon ausgegangen, dass eine CO₂-Menge in Höhe von 43% der weltweit rohstoffbedingten CO₂-Emissionen, die beim Brennen des Zementklinkers anfallen, über den Lebenszyklus des Betons wieder eingebunden werden [7]. Für Europa wird aufgrund der Rahmenbedingungen (geringerer Klinkergehalt der Zemente, geringere Anteile an Zementmörtel und -putzen) von der Einbindung in Höhe von bis zu 23% der rohstoffbedingten CO₂-Emissionen beim Brennen des Zementklinkers ausgegangen [8].

Ökobilanzierung

In Ökobilanzen wird zur Quantifizierung der CO₂-Aufnahme von Beton meist zwischen der „Nutzungsphase“ von Betonbauwerken und deren „Lebensende“ unterschieden:

- › In der Nutzungsphase hängt die CO₂-Aufnahme von der Festigkeit des Betons und den Expositionsbedingungen ab. Ein Beton für Innenbauteile mit geringer Festigkeit wird z. B. in der Regel während der Nutzungsphase mehr CO₂ aufnehmen als ein hochfester Beton, der dem Außenklima ausgesetzt ist. Oberflächenbehandlungen können die Carbonatisierung verlangsamen. Die Norm DIN EN 16757 enthält detaillierte Hinweise zur Ermittlung der CO₂-Aufnahme von Betonen während der Nutzungsphase.
- › Die CO₂-Aufnahme des Betons nach der Nutzung des Bauwerks hängt von den ergriffenen Maßnahmen zur Behandlung, Verwertung oder Entsorgung ab. Besonders effektiv ist die CO₂-Aufnahme des Betons, wenn er beim Recycling zerkleinert und dadurch die Oberfläche vergrößert wird. Der zerkleinerte Beton sollte dann eine Zeit lang ungebunden und der Witterung ausgesetzt gelagert werden.

Tab. 2: Potenzial für die CO₂-Aufnahme von Beton

Betonfestigkeitsklassen	CO ₂	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C45/55	C50/60
Globales Erwärmungspotenzial GWP (kg CO ₂ -Äquivalent/m ³ Beton), EPD, Modul A1-A3 (Herstellung)	Emission	178	197	219	244	286	300
CO ₂ -Aufnahme während der Nutzungsphase (kg/m ³ Beton, 20 cm dickes Betonbauteil), EPD, Modul B1	Aufnahme	-10					
Potenzial für die CO ₂ -Aufnahme nach dem „Lebensende“ (kg/m ³ Beton)		-59,3	-67,5	-76,2	-87,4	-100,4	-106,9

Quelle: EPDs auf Grundlage von DIN EN 16757

Innovationen

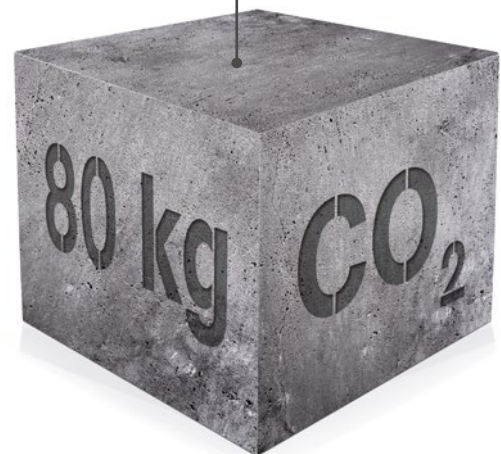
Beschleunigung der CO₂-Aufnahme im Beton – aktive Carbonatisierung

In die Praxis der Betonherstellung eingeführt werden auch Methoden, um größere Mengen CO₂ in den Beton schnell und gezielt einzubinden. Wichtig ist, dass dabei die Dauerhaftigkeit nicht nachteilig beeinflusst wird. Bereits heute gibt es Praxisbeispiele, in denen CO₂ in Betonbruch gebunden wurde, welcher dann als Gesteinskörnung im Recyclingbeton verwendet wird.

CO₂ kann auf verschiedene Weise dauerhaft in Beton gebunden werden:

- › Carbonatisierung von zerkleinertem Betonbruch
- › Behandlung von unbewehrtem Beton (Betonwaren) während der Erhärtung mit CO₂-haltigem Trockendampf
- › CO₂-Einbindung in Frischbeton/Restwasser durch Trockeneis/Begasung

1 Kubikmeter Beton (C25/30) kann bis zu **80 kg CO₂** aufnehmen



Quelle: Tabelle (s.o.)

**Ressour
censcho
nend
Bauen
mit
Beton**

Lange Nutzung,
Kreisläufe schließen!

Beton als Baustoff sowie Bauwerke oder Bauteile aus Beton können in vielfältiger Weise wiederverwendet oder recycelt werden. Der spätere Rückbau ist deshalb bereits bei der Planung zu berücksichtigen. Idealerweise ist im Sinne der Nachhaltigkeit die Wiederverwendung bzw. Umnutzung des gesamten Gebäudes oder einzelner Bauteile anzustreben. Wenn die Wiederverwendung nicht möglich ist, bietet das Recycling von Beton ein großes Potenzial zur Ressourcenschonung.

Inhaltlicher Überblick:

Beton in den Materialkreislauf zurückführen	26
Wiederverwendung von Materialien und Bauteilen mitdenken	30
Nutzungsdauer von Gebäuden verlängern	32
Materialsparende Bauteile und Konstruktionen aus Beton planen	34

Beton in den Materialkreislauf zurückführen

Denn: Beton ist zu 100% recyclingfähig

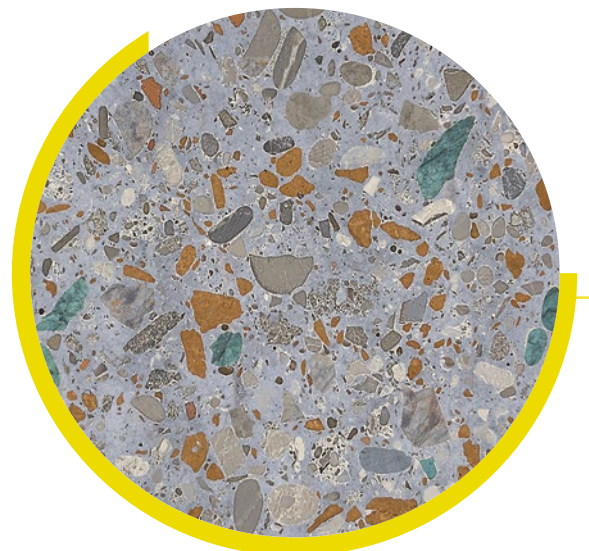
Bereits heute ist die Verwendung von Betonbruch als Recyclingbaustoff in vielen Bereichen gängige Praxis. Betonbruch hat sich als Gesteinskörnung in Beton oder als ungebundene Trag- und Frostschutzschicht im Straßenbau bewährt und ersetzt dort Primärrohstoffe. Daneben ist die Wiederverwendung von Überschuss- und Restmengen nach Aufbereitung bei der Frischbetonherstellung gängige Praxis.

Die Verwertungsquote von Beton ist mit über 90 % bereits sehr hoch. [9]. Dabei werden die Potenziale in erster Linie im Straßenbau gehoben. Vom Beton getrennte Bewehrung wird als Stahlschrott zu 100 % dem Wertstoffkreislauf wieder zugeführt.

Angesichts der absehbar steigenden Mengen an Festbeton aus dem Rückbau ergibt sich in Zukunft das Potenzial, das Betonrecycling im Hochbau deutlich auszuweiten. So könnten bei konsequenter Kreislaufführung schätzungsweise 50 Mio. Tonnen Primärrohstoffe durch den Einsatz von Recycling-Gesteinskörnung im Beton eingespart werden (s. Link). Der Einsatz von RC-Baustoffen kann bereits in der Ausschreibung verankert werden. Regionale Verfügbarkeit und Transportwege sind zu beachten.

Recyclingbeton im Hochbau einsetzen

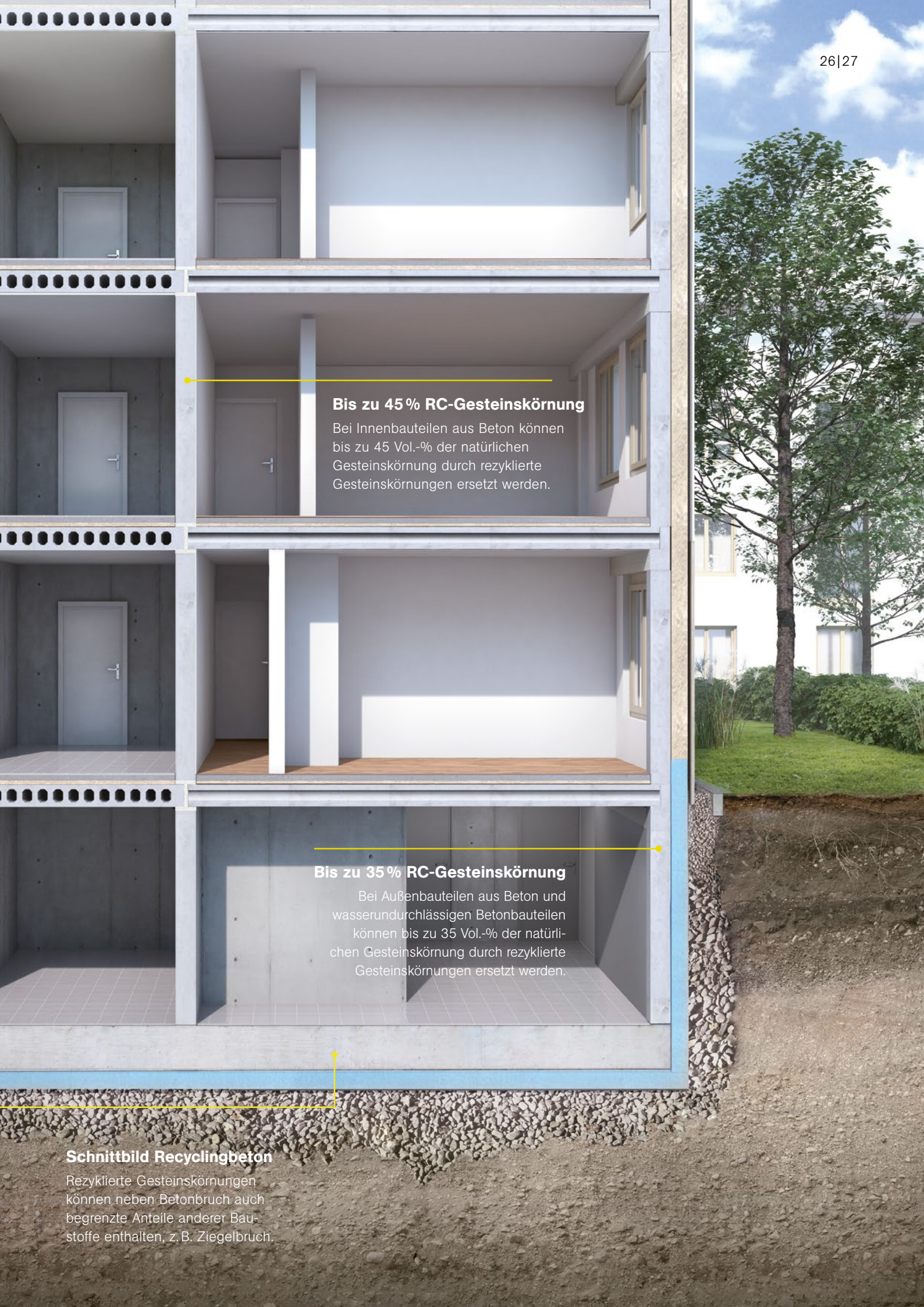
Der Einsatz rezyklierter Gesteinskörnungen in tragenden Bauteilen ist normativ geregelt und somit heute schon möglich. Bereits in den 1990er-Jahren gab es Projekte, wie das Verwaltungsgebäude der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) in Osnabrück oder die Waldspirale in Darmstadt mit über 12.000 m³ verbautem Recyclingbeton. Die Leistungsfähigkeit der sogenannten R-Betone ist somit langjährig bestätigt.



*Ressourcen der Zukunft für Zement
und Beton – Potenziale und Handlungs-
strategien*

Mehr Infos:

www.vdz-online.de/ressourcenschonung



Bis zu 45% RC-Gesteinskörnung

Bei Innenbauteilen aus Beton können bis zu 45 Vol.-% der natürlichen Gesteinskörnung durch rezyklierte Gesteinskörnungen ersetzt werden.

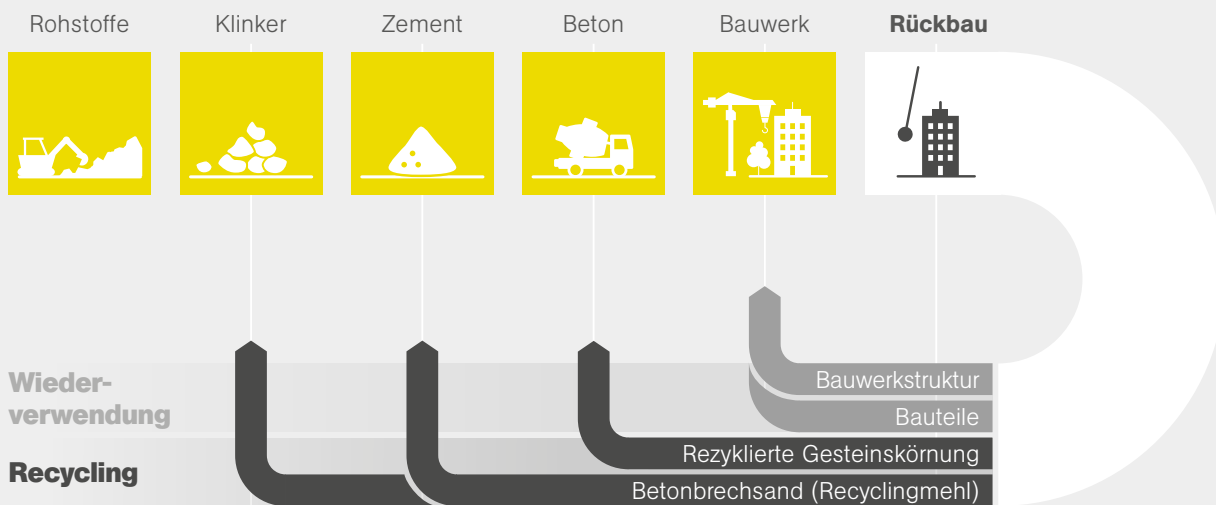
Bis zu 35% RC-Gesteinskörnung

Bei Außenbauteilen aus Beton und wasserundurchlässigen Betonbauteilen können bis zu 35 Vol.-% der natürlichen Gesteinskörnung durch rezyklierte Gesteinskörnungen ersetzt werden.

Schnittbild Recyclingbeton

Rezyklierte Gesteinskörnungen können neben Betonbruch auch begrenzte Anteile anderer Baustoffe enthalten, z. B. Ziegelbruch.

Abb.5: Stoffkreisläufe entlang der Wertschöpfungskette von Zement und Beton



Künftig gilt es, Recyclingbeton vermehrt einzusetzen und damit natürliche Ressourcen, z. B. Kies und Sand, einzusparen. Je nach Expositionsklasse und Typ der rezyklierten Gesteinskörnung können bis zu 45 Vol.-% (trockene Innenbauteile) der natürlichen Gesteinskörnung durch rezyklierte Gesteinskörnung ≥ 2 mm ersetzt werden. Neben gebrochenem Altbeton dürfen auch begrenzte Anteile anderer Baustoffe enthalten sein, ohne dass nachteilige Auswirkungen auf die Betonqualität auftreten. Das erhöht die Wirtschaftlichkeit der Betonaufbereitung deutlich. Je nach Typ der rezyklierten Gesteinskörnung können z. B. bis zu 10 % bzw. bis zu 30 % andere Bestandteile, wie z. B. Ziegel, Kalksandstein, aber auch geringe Mengen sonstiger Materialien, enthalten sein. Druckfestigkeitsklassen bis C30/37 und WU-Betone können mit rezyklierten Gesteinskörnungen hergestellt werden. Bislang wird dieses Potenzial für die Kreislaufwirtschaft im Hochbau aber noch nicht vollständig ausgenutzt.

Mit der Einführung der neuen Normengeneration DIN 1045 können künftig auch feine Gesteinskörnungen ≤ 2 mm (genannt Betonbrechsand oder Recyclingmehl) eingesetzt und die Anteile grober rezyklierter Gesteinskörnungen in einigen Anwendungen erhöht werden.

Verfügbarkeit rezyklierter Gesteinskörnungen

Aktuell stehen rezyklierte Gesteinskörnungen noch nicht flächendeckend und in ausreichenden Mengen für die Herstellung von Beton zur Verfügung. Insofern gilt es, Nachfrage nach Recyclingbetonen aktiv zu fördern und damit auch den Aufbau entsprechender Wertschöpfungsketten und Stoffkreisläufe anzureizen. Eine wesentliche Voraussetzung dafür ist die Aufbereitung, d. h. die möglichst sortenreine Trennung verschiedener Abbruchmaterialien sowie eine verbesserte Abtrennung des Zementsteins von der Gesteinskörnung.



Das InformationsZentrum Beton veranstaltet regelmäßig Seminare und Fortbildungen über Neuerungen der Betontechnik.

Mehr Infos:

www.beton.org/Veranstaltungen/Termine



Zementmerkblatt R-Beton

Zum Download:

www.beton.org/fileadmin/beton-org/media/Dokumente/PDF/Service/Zementmerkblätter/B30.pdf

Tab. 3: Anwendungsbereiche von RC-Gesteinskörnungen

Anwendungsbereich		Kategorie der Gesteinskörnung	
Alkalirichtlinie	DIN EN 206-1 und DIN 1045-2	Typ 1	Typ 2
WO (trocken)	Carbonatisierung XC1	≤ 45 Vol.-%	≤ 35 Vol.-%
	kein Korrosionsrisiko X0 Carbonatisierung XC1 bis XC4		
WF (feucht)	Frostangriff ohne Taumittel- einwirkung XF1 und XF3 und in Beton mit hohem Wassereindringwiderstand	≤ 35 Vol.-%	≤ 25 Vol.-%
	chemischer Angriff (XA1)	≤ 25 Vol.-%	≤ 25 Vol.-%

WO, WF = Feuchtigkeitsklassen gemäß DAfStb Alkali-Richtlinie:2013-10, X0 bis XA = Expositionsklasse

Quelle: Eigene Darstellung, zulässige Anteile rezyklierter Gesteinskörnungen > 2 mm nach DAfStb-Richtlinie, Prozentangaben beziehen sich auf den Anteil der Gesteinskörnung im Beton.

Innovationen

Betonbrechsand als Zementbestandteil

Der Einsatz von aufbereitetem Betonbrechsand („Recyclingmehl“) im Zement trägt dazu bei, mineralische Stoffkreisläufe zu schließen, den Anteil des Portlandzementklinkers im Zement zu reduzieren und damit CO₂-Emissionen zu verringern. In Deutschland sind erste Zemente mit Brechsand als Nebenbestandteil auf dem Markt. Sie benötigen eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung und die entsprechende Zementnorm ist in Vorbereitung. Im Zuge von Forschungsvorhaben konnte zudem bereits gezeigt werden, dass auch mit höheren Anteilen als Hauptbestandteil im Zement leistungsfähige Betone hergestellt werden können. Zemente mit bis zu 30 M.-% Brechsand können mindestens in Innenbauteilbetonen eingesetzt werden. Auch Außenbauteile des Hochbaus erscheinen möglich [10].

In Abhängigkeit von seiner Zusammensetzung kann durch aktive Carbonatisierung (Mineralisierung) des enthaltenen Zementsteins u. a. die Festigkeitsentwicklung von Zementen begünstigt werden [11]. Dies ermöglicht es in Zukunft, die Einbindung von CO₂ mit der weiteren Reduktion des Klinkerfaktors in Zementen zu kombinieren.


Typ 1: Betonsplitt



Typ 2: Bauwerkssplitt



NACHHALTIG BAUEN. MIT BETON.
Klimaeffizient. **Ressourcenschonend.** Energiesparend.



Leicht demontierbare Bauteile

Für die Wiederverwendung bieten sich besonders gut demontierbare Fertigteile an, z. B. vorgespannte Decken oder vorgehangene Wandelemente.

Wiederverwendung

von Materialien und Bauteilen mitdenken

Bauwerke in Beton können in ganzen Bauteilen oder stofflich getrennt wiederverwendet werden. Wie im Kapitel „Beton in den Materialkreislauf zurückführen“ erläutert, lassen sich bereits signifikante Mengen natürlicher Gesteinskörnungen im Beton durch Recycling-Material ersetzen. Auch für die weitere Verwendung ganzer Bauteile lohnt es sich, die erneute Nutzung bereits in der Entwurfsphase mitzudenken.

Die direkte Wiederverwendung ganzer Bauteile bietet ein großes Potenzial zur Ressourcenschonung über das reine Recycling der Ausgangsmaterialien hinaus. Ein sortenreiner Materialeinsatz kann beides erheblich erleichtern. Folgende Maßnahmen können hierzu beitragen:

- › Wo architektonisch gewollt und unter Nutzungsgesichtspunkten möglich, können Sichtbetonoberflächen statt verputzter oder verkleideter Oberflächen ausgeführt werden.
- › Wo Putze notwendig sind, empfehlen sich Kalk- oder Zementputze.
- › Verwendung zementgebundener Estriche
- › Verzicht auf geklebte Abdichtungen bei erdbehrührten Bauten, stattdessen z. B. Nutzung von wasserundurchlässigen Bauteilen aus Beton [12]
- › Verwendung von mechanischen Befestigungen anstelle von Klebeverbindungen
- › Einsatz von Betonen mit tragender und wärmedämmender Funktion durch Nutzung von Infralichtbetonen oder Gradientenbetonen (Kombination von Festigkeit und Wärmedämmung in einem Bauteil)

Speziell im Bereich serieller Bauten gibt es ein großes Potenzial zur Wiederverwendung. Bei Planung reversibler Bauteilverbindungen können ganze Bauteile rückgebaut und erneut verwendet werden. Die Mehrkosten eines systematischen Rückbaus lassen sich grundsätzlich amortisieren, sodass entsprechende Vorhaben wirtschaftlich darstellbar sind und sich ggf. künftig sogar Einnahmen aus dem Verkauf der Elemente erzielen lassen. Entsprechende digitale Plattformen entstehen zurzeit.

Verfügbarkeit gebrauchter Bauteile

Aktuell gibt es keinen deutschlandweit vorhandenen Markt für gebrauchte Betonbauteile. Rechtliche wie logistische Herausforderungen machen die Wiederverwendung von Bauteilen zu einer seltenen Ausnahme. Liegen Ort und Rückbauzeitraum eines abzureißenden Gebäudes und eines geplanten Neubaus aber nahe beieinander, kann es sich bereits heute um eine wirtschaftliche Maßnahme handeln.



Zementmerkblatt Infralichtbeton

Zum Download:

www.beton.org/fileadmin/beton-org/media/Dokumente/PDF/Service/Zementmerkblätter/B14.pdf

Nutzungs- dauer

von Gebäuden verlängern

Durch eine Verlängerung der Nutzungsdauer von Gebäuden oder Bauteilen können der Bedarf für Neubauten und der damit verbundene Ressourcenverbrauch reduziert werden.

Innenausbau

Individuell
und variabel

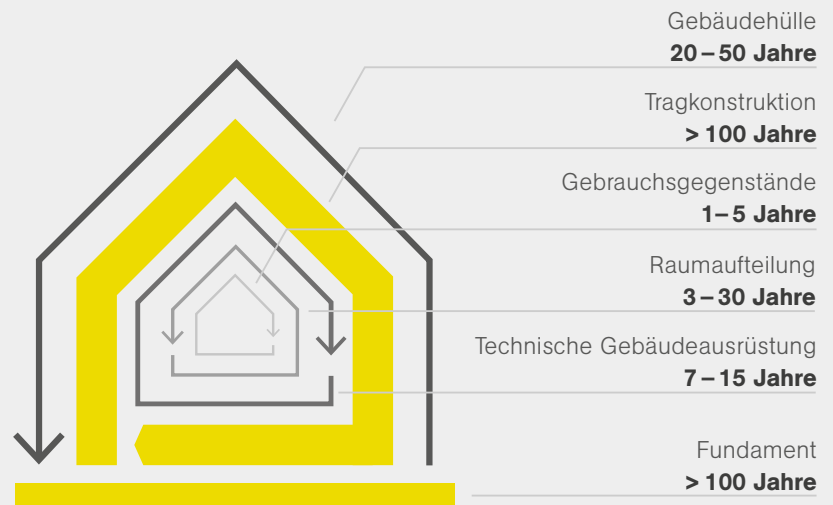
Variable Grundrisse

Skelettbauweise und hohe Spannweiten bei Verzicht auf tragende Innenwände erlauben das Erstellen variabler, den sich ändernden Nutzungsanforderungen anpassbarer Grundrisse.

Flexible Fassadengestaltung

Die Lebensdauer der Fassade ist für gewöhnlich geringer als die des Tragwerks. Auch können sich Anforderungen an diese im Laufe der Zeit ändern.



Abb. 6: Nutzungsdauer nach Gebäudeteilen

Quelle: Brand, S.: How Buildings Learn, Penguin Books (1995)

Im Hinblick auf die Ressourceneffizienz ist es wünschenswert, die vorhandene Gebäudesubstanz möglichst lange zu nutzen und wenn nötig durch Umbauten, Nutzungsänderungen und bauphysikalische Aufwertungen zu ertüchtigen. Vergleichende Ökobilanzierungen für zwei Beispielgebäude ergaben, dass das Treibhauspotenzial innerhalb eines Nutzungszeitraums von 100 Jahren um rund 20% reduziert werden kann, wenn anstelle eines Rück- und Neubaus eine Umnutzung in der vorhandenen Tragstruktur erfolgt [13].

Die Um-/Nachnutzung eines Gebäudes sollte immer in der Planung berücksichtigt werden. Für die Errichtung sehr langlebiger, in der Nutzung flexibler Gebäudeträgerwerke bieten Betonkonstruktionen vorteilhafte Eigenschaften:

- › Konstruktive Trennung von Tragwerk und Ausbau
- › Hohe Flexibilität der Fassadengestaltung und der Raumaufteilung durch Skelettsysteme, evtl. mit flexibler Stützenanordnung entlang der Hauptträger
- › Nutzung weitgespannter Träger-, Binder- und Deckensysteme für hohe Flexibilität im Ausbau, insbesondere für variable Grundrisse; Geschossdecken können mit bis zu 20 m Spannweite hergestellt werden, Binderspannweiten im Hallenbau sind bis 60 m möglich; Grenzen durch Brandschutzanforderungen sind zu beachten (Brandabschnitte)
- › Tragreserven für geänderte Ausbau- und Nutzlasten, z. B. erhöhte Nutzlasten für mögliche Funktionsänderungen, Möglichkeit zum Versetzen nichttragender Innenwände

Material sparende Bauteile

und Konstruktionen
aus Beton planen

Die Betonbauweise ermöglicht ressourcenschonende Optimierungen, die bereits in der Planungsphase berücksichtigt werden sollten. Im Kapitel „Klimaeffizient Bauen mit Beton“ werden verschiedene Ansätze zur Optimierung von Bauteilen vorgestellt, mit denen sich der Materialeinsatz deutlich reduzieren und damit CO₂ einsparen lässt. Diese Ansätze werden hier im Einzelnen nicht erneut dargestellt, sind aber analog auf das Ziel der Materialeinsparung übertragbar.

Jedes Gebäude lässt sich durch einfache, geradlinige Lastableitung statisch optimieren und kann so Material und Gewicht sowohl bei Beton als auch bei der Bewehrung einsparen. Lastabtragende Bauteile sollten übereinander liegen. „Überdrückte“ bzw. vorgespannte Betonkonstruktionen reagieren auf Bauwerkslasten deutlich unempfindlicher als Bauteile unter Zug- bzw. Lastwechselbeanspruchung. In Querschnittsbereichen ohne Funktion sollte Beton

ausgespart werden. Eine herstellungstechnische Optimierung ist durch möglichst viele gleichartige Bauteilquerschnitte und optimierte Einzelbauteile erreichbar. Die Wahl der Deckenkonstruktion hat wesentlichen Einfluss auf den Ressourcenverbrauch. Optimierungen der Betonrezepturen können erfolgen, damit nur die wirklich notwendigen Betoneigenschaften erfüllt werden. Überfestigkeiten sollten vermieden werden.

Möglichkeiten konstruktiver Optimierung auf einen Blick:

- | | |
|---|---|
| Planerische/statische Optimierung: | <ul style="list-style-type: none"> › Lotrechte Überlagerung tragender Bauteile › Verwenden vorgespannter Deckenelemente › Verwenden baugleicher Bauteile |
| Effizienter Materialeinsatz: | <ul style="list-style-type: none"> › Einsatz hochfester Betone zur Querschnittsminderung › Vermeiden von Überdimensionierungen |
| Materialsparende Bauteile: | <ul style="list-style-type: none"> › Ortbeton-Hohldecken › Halbfertigteildecken / Ortbetonverbunddecken › Spannbeton-Fertigdecken |

Innovationen

3D-Druck mit Beton

Die Entwicklung digitaler Betondruckverfahren hat technologisches und wirtschaftliches Potenzial, wie den Verzicht auf Schalungssysteme, die Vermeidung von Abfall und die Möglichkeit neuer Bemessungskonzepte für komplexe Formen. Der 3D-Druck ist sowohl als Ortbeton als auch für Fertigteile mit komplexen Formen und unabhängig von Stückzahlen möglich. In Deutschland wurden als erste großtechnisch errichtete Gebäude ein Einfamilienhaus in Beckum [14] und ein zweigeschossiges Mehrfamilienhaus mit fünf Wohneinheiten in Wallendorf hergestellt. Mit der Drucktechnik können auch Möbel und Interieur gedruckt werden. Beim Drucken der Wände wird ein speziell entwickelter Beton in einzelnen, wenige Zentimeter hohen Schichten übereinander aufgebracht. Mit Bezug auf die Erfahrungen bei Pilotprojekten kann davon ausgegangen werden, dass beim Beton bis zu 30% und bei der Bewehrung bis zu 20% Materialeinsparungen bei vergleichbarer Traglast möglich sind [14].

Carbonbeton

Mit der Entwicklung des Stahlbetons vor ca. 150 Jahren konnten Betonbauteile sowohl hohe Druck- als auch Zugkräfte aufnehmen. Stahlbewehrung kann allerdings korrodieren, wenn sie nicht durch eine ausreichend dicke und dichte Betonschicht geschützt wird (Betondeckung). Mit nichtrostenden, aber dauerhaft tragfähigen Bewehrungen aus Carbon- und Glasfasern liegt eine materialsparende Alternative vor. Bei vergleichbarer Tragfähigkeit sind deutlich dünnere Bauteildicken ausführbar, z. B. durch Verringerung der Betondeckung. Bei einer vollständigen Substitution von Stahlbeton durch Carbonbeton gehen Schätzungen von einer Betoneinsparung von bis zu 48% und einer Verminderung der CO₂-Emissionen bis zu 72% aus [15]. Zurzeit sind für die Anwendung von Carbonbeton noch allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen/allgemeine Bauartgenehmigungen bzw. Zustimmungen im Einzelfall erforderlich. Eine Richtlinie des DAfStb über Betonbauteile mit nicht-metallischer Bewehrung ist in Vorbereitung.

Energie sparender Beton

Effizienter Wärmeschutz
mit erneuerbarer Energie

Die Wärmespeicherfähigkeit von Beton ermöglicht, den Energiebedarf von Gebäuden zu reduzieren. Bauteile aus Beton können auch gezielt zum effizienten Heizen und Kühlen eingesetzt werden – und das mit erneuerbarer Energie.

Inhaltlicher Überblick:

Energiesparen dank hoher Wärmespeicherfähigkeit von Beton	38
Heizen und Kühlen mit Beton – effizient und erneuerbar	40

Energiesparen dank hoher Wärmespeicherfähigkeit von Beton

Weniger Heizenergiebedarf dank Wärmespeicherung

Ein typisches Mehrfamilienhaus in Stahlbetonbauweise benötigt bis zu 5 % weniger Heizenergie als ein vergleichbares Haus in Leichtbauweise.

-5 %

Heizenergiebedarf über einen
Zeitraum von 50 Jahren

Die hohe Wärmespeicherfähigkeit des Betons lässt sich planerisch optimieren. Während bei der Gebäudehülle vor allem auf den Wärmeverlust geachtet wird, können innenliegende, massive Bauteile regulierend auf die Gebäudetemperatur wirken. Durch eine entsprechende Detailplanung und Detailausbildung können Bauwerke aus Beton praktisch wärmebrückenfrei und optisch hochwertig konstruiert werden.



Planungsatlas Hochbau: Der interaktive Planungsatlas bietet verschiedene Hilfsmittel um planende Architekten und Ingenieure zu unterstützen.

Mehr Infos:

www.planungsatlas-hochbau.de

Insbesondere durch Stahlbeton-Sandwichfassaden und Beton-Vorhangfassaden können Gebäude thermisch optimiert werden. Hilfestellungen hierzu sowie eine umfangreiche Sammlung von Details enthält der Planungsatlas (s. Link). Dabei ist jedoch auf die Rezyklierbarkeit und Nachhaltigkeit der eingesetzten Wärmedämmmaterialien zu achten. Interessante Alternativen können sich auch mit neuen Konzepten gradierter oder haufwerksporiger Leichtbetonquerschnitte, insbesondere in Decken- und Wandsystemen, ergeben.

Die thermische Trägheit des Betons (bei einer Wärmekapazität von ca. $2.400 \text{ kJ}/(\text{m}^3\text{K})$) entspricht vor allem dem menschlichen Behaglichkeitsempfinden. Da die Außentemperatur in Deutschland selbst im Sommer nachts für gewöhnlich auf unter 20°C absinkt, können die massiven Bauteile wieder auskühlen und nehmen dann über den Tag verteilt wieder langsam die zusätzliche Wärme auf. Hierdurch herrscht bei gutem Wärmeschutz ein geringes Gefälle zwischen Bauteil- und Raumlufttemperatur, welches als behaglich empfunden wird. Noch effizienter ist diese Eigenschaft in Kombination mit einer Bauteilaktivierung. Studien haben ergeben, dass herkömmliche Heizsysteme die Raumtemperatur um $1\text{--}2^\circ\text{C}$ höher heizen müssen, um ein vergleichbares Behaglichkeitsempfinden zu erzeugen [16].

Die Wärmespeicherfähigkeit des Betons wirkt sich im Betrieb im Vergleich mit leichteren Bauweisen positiv aus. Aus der geringeren Wärmespeicherfähigkeit leichter Werkstoffe (z. B. Holz) ergibt sich ein größerer Heizwärmebedarf im Unterhalt des Gebäudes gegenüber einer Massivbauausführung. Am Beispiel eines typischen Mehrfamilienhauses ergibt sich ein um 5% höherer Heizenergiebedarf eines Holzhauses gegenüber einem Stahlbetongebäude über einen Zeitraum von 50 Jahren mit einem entsprechend über 3% höheren CO_2 -Ausstoß. Dieser Abstand vergrößert sich bei längerem Betrachtungszeitraum entsprechend [17].

Innovationen

Betonwärmespeicher

Beton ist aufgrund seiner Materialdichte ein hervorragender Wärmespeicher. Gerade bei der Nutzung von Sonnen- und Windenergie müssen Speicherkapazitäten geschaffen werden, um die ungleichmäßige Energiebereitstellung auszugleichen. In hochwärmeleitfähigen Beton eingebettete, mit Thermoöl oder Wasserdampf gefüllte Stahlrohre befüllen oder leeren den Speicher, auch Thermischer Energiespeicher genannt. Es werden Temperaturen bis 450°C genutzt. Pro Speichermodul können bis zu 2 MW Energie gespeichert werden. [18]

Heizen und Kühlen mit Beton

effizient und erneuerbar

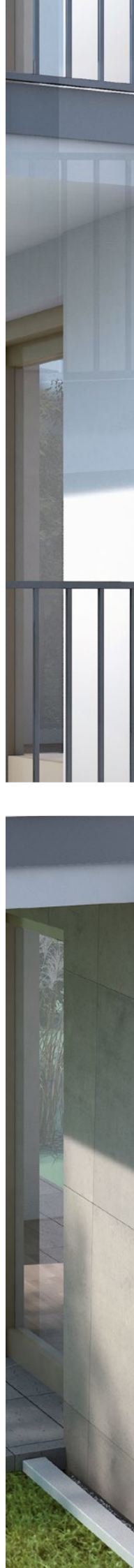
Die thermische Aktivierung von Betonbauteilen macht sich die thermische Speicherfähigkeit des Betons zunutze und stabilisiert die Innenraumtemperaturen im Sommer wie im Winter. Sie sorgt nicht nur für ein behagliches Raumklima ohne Luftverwirbelungen, sondern reduziert gleichzeitig den Energiebedarf für die Heizung und Kühlung des Gebäudes.

Mit der sogenannten Bauteil- oder Betonkernaktivierung können alle Arten von Hochbauten ganzjährig geheizt und gekühlt werden. Kombiniert mit regenerativen Energiequellen bieten Decken und Wände als thermoaktive Bauteile beste Voraussetzungen für ein energieeffizientes und wirtschaftliches Bauen. Dazu wird ein Rohrsystem in die Betonbauteile integriert, durch das entweder warmes oder kaltes Wasser geleitet wird. Das Wasser gibt die Wärme an den Beton ab oder kühlt diesen, indem Wärme entzogen wird.

Der Beton tauscht die Wärme zu 60% über Strahlung und zu 40% über Konvektion mit dem Raum aus. Das System arbeitet im energiesparenden Niedertemperaturbereich, die typische Heizleistung beträgt 25 bis 30 W/m², die Kühlleistung entsprechend 30 bis 40 W/m² [19, 20]. Die aktivierten Betonbauteile bieten eine störungsfreie Technik ohne bewegliche Teile und weisen eine Lebensdauer auf, die der Baustruktur entspricht. Großflächige Heizelemente wie Geschossdecken und evtl. Wandelemente ersetzen aufgrund ihrer großen Masse den klassischen Heizkörper und Klimaanlage.

Der zum Erwärmen oder Kühlen notwendige, geringe Energieaufwand kann bevorzugt durch regenerative Energiequellen, z. B. Umgebungswärme aus Geothermie oder dem Grundwasser, Fernwärme, Solarenergie, Photovoltaik oder anderen Energiequellen, abgedeckt werden. Die Bauteilaktivierung ermöglicht es, den Energiebedarf durch entsprechende Regelung zeitlich zu verschieben und die Energiezufuhr auf jene Zeiten zu beschränken, in denen erneuerbarer Strom im Überschuss und demnach kostengünstig zur Verfügung steht [21, 22]. Insbesondere bei Spannbeton-Fertigdecken sind Wärme-Kühl-Decken inzwischen gängige und bewährte Praxis. Hier wird nicht nur Material, sondern auch Bauzeit gespart.

Erfahren Sie mehr zu den verschiedenen Deckenvarianten auf S. 16 im Kapitel „CO₂-effiziente Bauteile und Konstruktionen aus Beton planen“.



Thermische Speicherfähigkeit

Sorgt dafür, dass ein einmal beheiztes Bauteil die Wärme langsam und konstant abgibt. Dies steigert die thermische Behaglichkeit.

Thermisch aktivierte Bauteile

Kühlen oder Erwärmen den Raum über Strahlungs- und Konvektionswärme.

Innovationen

Betonbatterie

Die Idee einer elektrischen Batterie aus Beton wird derzeit in Schweden entwickelt. Einem Feinkorn-Beton wird eine geringe Menge Carbonfasern zugesetzt, um die elektrische Leitfähigkeit zu erhöhen. Im Betonbauteil, z. B. der Bodenplatte eines Gebäudes, werden metallbeschichtete Kohlefasergewebe eingelegt – Eisen für die Anode, Nickel für die Kathode. Damit entsteht eine immer wieder aufladbare Batterie, um Solar-energie dezentral zu speichern und bei Bedarf an das Gebäude abzugeben. Es wird derzeit erforscht, inwiefern die geringe Energiedichte im Vergleich zu klassischen Batterien durch die großen Betonflächen bei Gebäuden ausgeglichen werden kann. [23]

Ausblick:

Wege zur Klima neutralität ...

Diese Broschüre dient als Leitfaden für ArchitektInnen, PlanerInnen und andere Baubeteiligte und macht deutlich, wie durch materialsparende Planung, den Einsatz CO₂-effizienter Zemente und weitere Maßnahmen bereits heute erhebliche Einsparungen an CO₂, Ressourcen und Energie mit der Betonbauweise erreicht werden können. Um das Ziel der Klimaneutralität bis 2045 zu erfüllen, wird dies jedoch nicht ausreichen. Es werden zusätzlich ganz neue Ansätze in der Herstellung und Anwendung von Zement und Beton notwendig sein.

Wie kann eine klimaneutrale Betonbauweise bis 2045 gelingen?

Die CO₂-Roadmap der deutschen Zementindustrie gibt Antworten auf diese Frage. Sie zeigt auf, dass das Ziel der Klimaneutralität mithilfe eines breiten Mix an Maßnahmen auf allen Ebenen der Wertschöpfungskette erreicht werden kann – von der Klinker-, Zement- und Betonherstellung bis zur Anwendung des Betons im Bauwerk. Dazu gehört neben den in dieser Publikation dargestellten Ansätzen vor allen Dingen auch die Abscheidung von CO₂ im Zementwerk und dessen Nutzung bzw. Speicherung („Carbon Capture and Utilisation/Storage“ – CCUS). Auch ganz neue Zemente mit einem sehr niedrigen Klinkergehalt, die derzeit vor der Markteinführung stehen, oder der Einsatz von Wasserstoff als Energieträger werden eine entscheidende Rolle spielen.

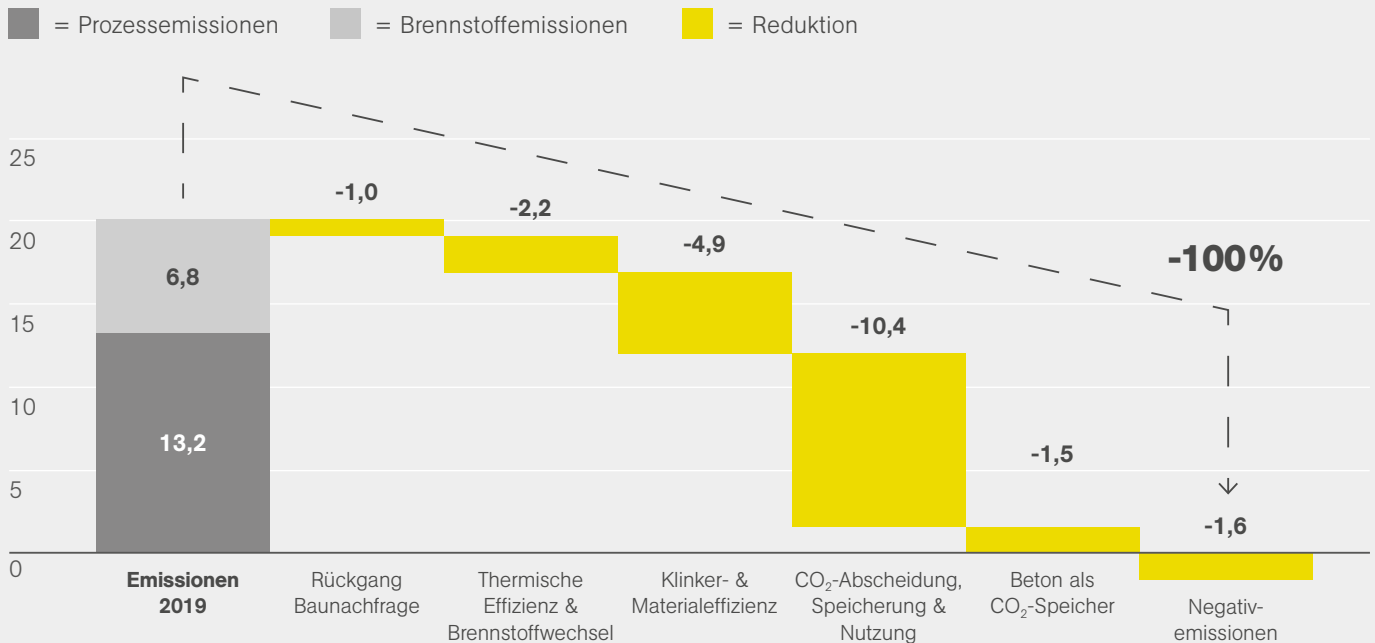
In dem in Abbildung 7 dargestellten Klimaneutralitätspfad wird die CO₂-Minderung der einzelnen

Maßnahmen entlang der Wertschöpfungskette von Zement und Beton dargestellt. Der Einsatz von CCUS beschränkt sich dabei nur auf die CO₂-Mengen, die auf anderem Wege nicht gemindert werden können.

Auf diese Weise wird bereits bis 2030 eine CO₂-Minderung von rund 27 % gegenüber 2019 (ca. 55 % gegenüber 1990) erreicht. Erste CCUS-Demonstrationsanlagen im industriellen Maßstab leisten hierzu einen jährlichen Beitrag in Höhe von 1 Mio. Tonnen CO₂.

Bis 2045 will die deutsche Zementindustrie unter Ausschöpfung aller verfügbaren CO₂-Minderungsoptionen entlang der Wertschöpfungskette inklusive externer Effekte eine vollständige Minderung der CO₂-Emissionen erreichen. Dabei werden jährlich 10,4 Mio. Tonnen CO₂ durch den flächendeckenden Einsatz von CCUS-Technologien reduziert. Durch den Einsatz biomassehaltiger Brennstoffe bei gleichzeitiger CO₂-Abscheidung können zusätzlich rund

**Abb. 7: CO₂-Minderung bis zur Klimaneutralität 2045
(in Mio. t CO₂)**



Quelle: VDZ / Verein Deutscher Zementwerke

1,6 Mio. Tonnen CO₂ aus der Atmosphäre entnommen und als Negativemission erfasst werden. Rechnerisch werden die Gesamtemissionen somit um mehr als 100% verringert. Als externe Effekte, die nicht direkt beeinflussbar sind, werden die natürlich stattfindende CO₂-Aufnahme im Beton (Recarbonatisierung) sowie ein leichter Rückgang der Betonnachfrage bis 2045 in diesem Szenario berücksichtigt.



Dekarbonisierung von Zement und Beton – Minderungspfade und Handlungsstrategien. Eine CO₂-Roadmap für die deutsche Zementindustrie.

Mehr Infos:

www.vdz-online.de/dekarbonisierung

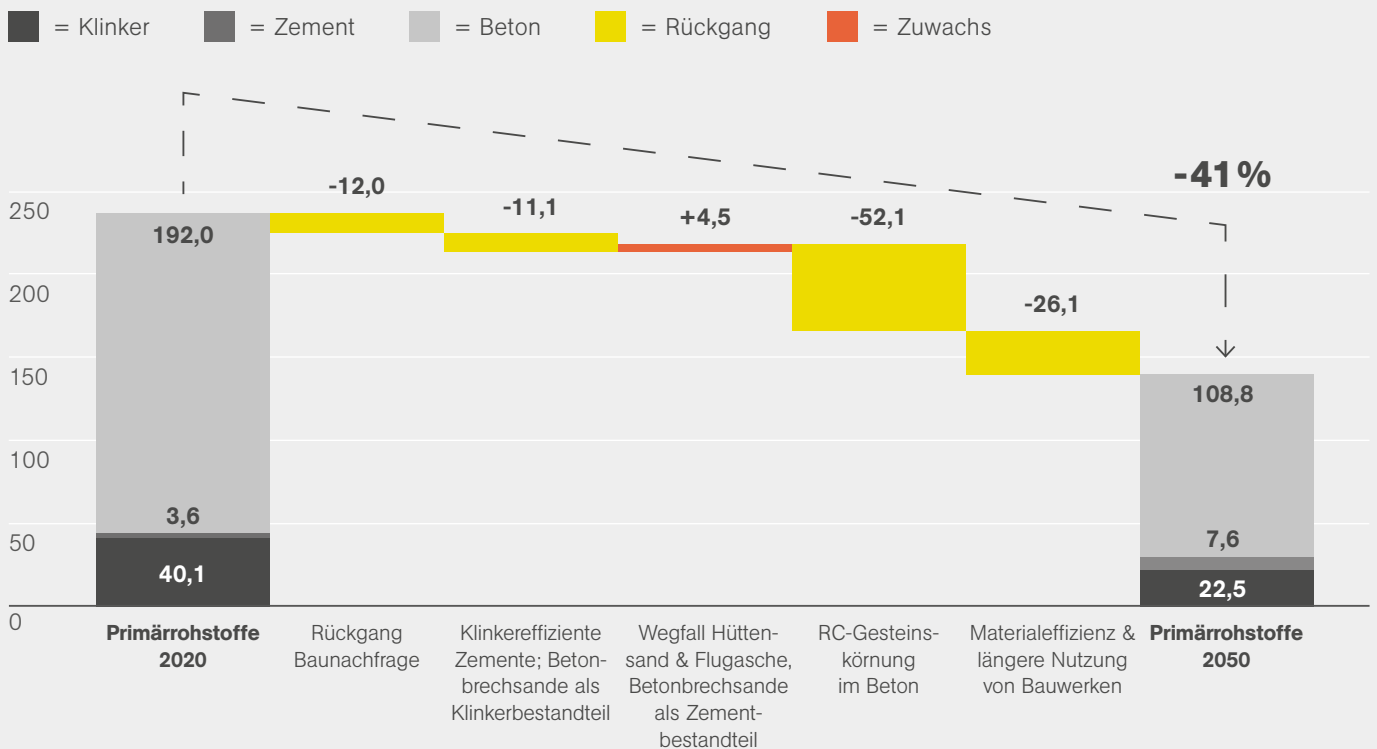
Warum ist die CO₂-Minderung so herausfordernd?

Hintergrund ist, dass zur Zementherstellung Kalkstein zum sogenannten Klinker gebrannt werden muss. Dabei wird das im Kalkstein gebundene CO₂ freigesetzt. Bei diesem Vorgang entstehen rund zwei Drittel der direkten CO₂-Emissionen. Nur ein Drittel der Emissionen fallen bei der Gewinnung der hierbei benötigten Energie an. Daher wäre selbst durch den Einsatz von 100% erneuerbarer Energien bei der Herstellung nur ein Teil der Gesamtemissionen vermeidbar. Eine entscheidende Rolle bei der Dekarbonisierung werden deshalb künftig auch neuartige Technologien und Innovationen spielen, durch die sich die Herstellung von Zement und die Betonbauweise grundlegend verändern werden. Diese Ansätze werden in den Innovationsboxen der vorangegangenen Kapitel teilweise vorgestellt.

... und zur Ressourcen schonung

Neben dem Klima- und Artenschutz gehört die Schonung natürlicher Ressourcen zu den großen ökologischen Herausforderungen unserer Zeit. Eine vom Verein Deutscher Zementwerke (VDZ) veröffentlichte Studie hat nun im Rahmen eines Szenarios bis 2050 verschiedene Potenziale zur Ressourcenschonung identifiziert und beziffert.

**Abb. 8: Einsparpotenziale beim Primärrohstoffeinsatz bis 2050
 (in Mio. t)**



Die in der Studie betrachteten Maßnahmen führen im Szenario 2050 insgesamt zu einer Minderung des Primärrohstoffeinsatzes entlang der Wertschöpfungskette von Zement und Beton um insgesamt 96,8 Mio. t im Jahr 2050, was einer Reduktion um 41 % gegenüber 2020 entspricht. Die größten Potenziale ergeben sich in der Betonherstellung (-52,1 Mio. t), indem ein signifikanter Teil der natürlichen Gesteinskörnung im Beton künftig durch rezyklierte Gesteinskörnung ersetzt wird.

Weitere Potenziale ergeben sich auf der Ebene der Klinker- und Zementherstellung durch den Einsatz von Betonbrechsanden bzw. Recyclingmehlen aus der Aufbereitung von Beton- und Mauerwerksbruch. Im Szenario 2050 können durch diese Maßnahme mehr als 4 Mio. t Kalkstein ersetzt werden. Gleichwohl gibt es insbesondere bei der Zementherstellung infolge der zukünftig geringeren Hüttensand- und Flugaschemengen auch gegenläufige Effekte, die einen größeren Einsatz bestimmter primärer Rohstoffe erfordern. Dies sind vor allem Kalkstein und calcinierte Tone, um den Klinkergehalt im Zement zu reduzieren.

Auf Bauwerksebene ermöglichen die Weiterentwicklung der Betonbauweise und die Verlängerung der Bauwerksnutzungsdauer im Szenario 2050 eine Einsparung von 26,1 Mio. t natürlicher Rohstoffe. Hierbei spielt u.a. eine entsprechend materialeffizientere Gebäudeplanung eine wichtige Rolle. Zudem wird angenommen, dass verstärkt Bauweisen zum Einsatz kommen, die mit einem geringeren Betonvolumen eine vergleichbare Leistungsfähigkeit erzielen. Über das Jahr 2050 hinaus werden weitere Potenziale gesehen, indem durch modulare Bauweisen die Wiederverwendung von Bauteilen oder ganzer Bauwerksstrukturen gestärkt wird.

Als externer Effekt wurde im Szenario 2050 ein leichter Rückgang der Baunachfrage als Minderungsbeitrag berücksichtigt (-12,0 Mio. t). Mit Blick auf die Brennstoffe wird davon ausgegangen, dass die heute in Teilen noch eingesetzten fossilen Brennstoffe bis 2050 durch alternative Brennstoffe und grünen Wasserstoff vollständig substituiert werden. In Summe dürfte der Materialeinsatz in einer ähnlichen Größenordnung liegen wie zum jetzigen Zeitpunkt (ca. 5 Mio. t).

Die Ressourcenschonung und das Erreichen der Klimaneutralität sind eng miteinander verknüpft. Beide Ziele bedürfen des Bewusstseins und der Zusammenarbeit sämtlicher Beteiligter aus Industrie, Politik, Ausführung und Planung. Nur mit einem gemeinsamen Verständnis des Weges, der bevorsteht, und in kooperativer Zusammenarbeit sind diese Ziele zu erreichen.



Ressourcen der Zukunft für Zement und Beton – Potenziale und Handlungsstrategien

Mehr Infos:

www.vdz-online.de/ressourcenschonung

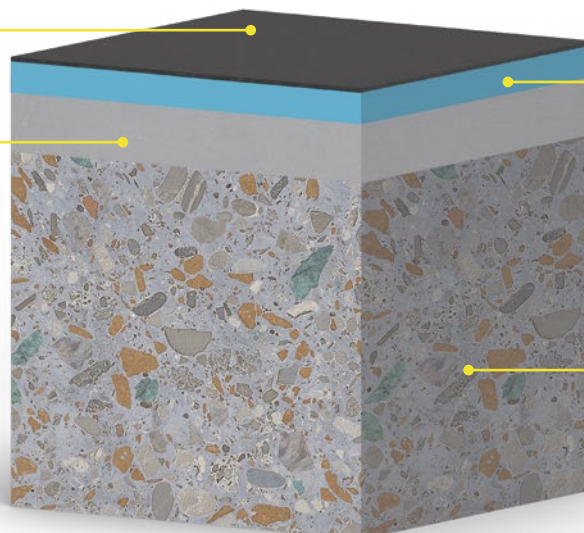
Abb. 9: Zusammensetzung 1m³ Beton

Flugasche und Zusatzmittel **~1 M-%**
(~ 20 kg)

Zement **~13 M-%**
(300–320 kg)

Wasser **~7 M-%**
(160–180 bzw. kg)

Gesteinskörnung **~79 M-%**
(~ 1.900 kg)



Quelle: VDZ und Umweltproduktdeklarationen (EPDs) für Beton.

Anmerkung: gewichtete mittlere Zusammensetzung von Betonen der Druckfestigkeitsklassen C20/25, C25/30, C30/37 und C35/45; Anteile beziehen sich auf die Masse des Betons; bei Betrachtung des Volumens sind noch ca. 1,5 % Lufteinschlüsse zu berücksichtigen.

Literatur

- [1] Braune, A.; Ekhvaia, L.; Quante, K.: DGNB – Benchmarks für die Treibhausgasemission der Gebäudekonstruktion, DGNB (2021)
- [2] Hauke, B.: Nachhaltigkeit, Ressourceneffizienz und Klimaschutz, Institut Bauen und Umwelt e.V./DGNB e.V. (2021)
- [3] Haist et al.: Ansatz zur Quantifizierung der Nachhaltigkeit von Beton auf der Baustoffebene. Beton- und Stahlbetonbau 111 (2016) H. 10
- [4] DIN CEN/TS 19103: 2022-02: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Berechnung von Holz-Beton-Verbundbauteilen
- [5] Ries, J.: Herstellung filigraner Hohlraumdeckenplatten mit Verdrängungskörpern aus Recyclingpapier. Beton (2019) Heft 12, S. 468–471
- [6] Schoof, J.: HiRes Concrete Slab im Empa NEST Dubendorf.
www.detail.de/de/de_de/hi-res-concrete-slab-im-empa-nest-dubendorf
- [7] Climate Change 2021. The Physical Science Basis. Chapter 5. Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, 7.8.2021
- [8] Andersson, R.; Stripple, H. et al.: Carbonation as a method to improve climate performance for cement based material. Cement and Concrete Research (2019), S. 124, 105819
- [9] Basten, M.; Schäfer, B.: Kreislaufwirtschaft Bau – Mineralische Bauabfälle Monitoring 2018, Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V. (2021)
- [10] Müller, C.; Severins, K.; Spanka, G.: Brechsand als Zementhauptbestandteil. Beton (2020) Heft 9, S 336-345
- [11] Vanoutrive, H.; Van den Heede, P, et al.: Report of RILEM TC 281-CCC: Outcomes of a round robin on the resistance to accelerated carbonation of Portland, Portland-fly ash and blast-furnace blended cements, Materials and Structures (2022)
- [12] Zement-Merkblatt H10: Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton. Ausgabe 5.2019
- [13] Dresen, A.; Graubner, C.-A.; Hauer, B.; Hegger, J.; Hierlein, E.; Roth, C.; Schießl, P.; Wiens, U.: Grundsätze des nachhaltigen Bauens mit Beton. Beton (2012) Heft 9, S. 328–337
- [14] Weger, D.; Gehlen, C.; Korte, W.; Meyer-Brotz, W.; Scheydt, J.; Stengel, T.: Bauen neu gedacht. 3D-Betondruck in der Baupraxis. Beton (2021) Heft 7+8, S. 244–249
- [15] Seifert, W.; Lieboldt, M.: Ressourcenverbrauch im globalen Stahlbetonbau und Potenziale der Carbonbetonbauweise. Beton- und Stahlbetonbau (2020) Heft 6, S. 469–478
- [16] Ferle, A.; Kuster, H.: Heizen mit Sonne und Beton – Erfahrungen aus Planung und Baupraxis, Erschienen in: Expertenforum Beton – Energiespeicher Beton, Herausgeber: VÖZ, Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie
- [17] Pohl, S.: CO₂-Tonnagen und Wärmespeichereffekte über den Lebenszyklus von Gebäuden, LCEE Life Cycle Engineering Experts GmbH (2019)
- [18] Hoivik, N.; Greiner, C. et al.: Long-term performance results of concrete-based modular thermal energy storage system. Journal of Energy Storage, Vol. 24, August 2019, 100735
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352152X18306480>

-
- [19] Bittermann, H.-J.: Warmer Beton, kalter Beton: Betonkernaktivierung bringt Ökologie und Ökonomie in Einklang, IKZ-Planer (2020), (3) S.16–19
- [20] Kalz, D., Koenigsdorff, R.: Nichtwohngebäude effizient heizen und kühlen: Erfahrungen mit thermoaktiven Bauteilsystemen und Wärmepumpen, Bine Informationsdienst (2/2016)
<https://api.deutsche-digitale-bibliothek.de/binary/9a134963-eb88-4932-98fe-f8248ada55cc.pdf>
- [21] Thomas, Y., Grillet, F., Beatens, R., Alderweireldt, J.: Structural thermal energy storage in heavy weight buildings – Analysis and recommendations to provide flexibility to the electric grid, Cembureau (2016)
http://cembureau.eu/media/ssgkvt4t/3e_structuralthermalenergystorageheavyweightbuildings_2016-10-25.pdf
- [22] Spaun, S., Kuster, H., Kuster, A. et al.: Einfamilienhaus H. (Wind) und Einfamilienhaus F. (Solar), Berichte aus Energie und Umweltforschung (13/2019)
https://www.zement.at/downloads/downloads_2019/monitoringprojekt_stadt_der_zukunft_schriftenreihe-2019-13.pdf
- [23] Zhang, E. Q.; Tang, L.: Rechargeable Concrete Battery. Buildings (2021) Heft 11
<https://www.mdpi.com/2075-5309/11/3/103>

NACHHALTIG BAUEN. MIT BETON.

Klimaeffizient. Ressourcenschonend. Energiesparend.

Impressum

Herausgeber:

InformationsZentrum Beton GmbH
Toulouser Allee 71
40476 Düsseldorf

Autoren:

Manuel Mohr
Thomas Richter
Julian Biermann
Christoph Müller

Gestaltung:

artismedia GmbH, Stuttgart

Visualisierungen:

emb grafika, Steinheim

Druck:

Druckerei Killinger GmbH, Reutlingen

Diese Publikation wurde klimaneutral
auf Recyclingpapier mit FSC- und
„Blauer Engel“-Zertifizierung gedruckt.



InformationsZentrum Beton GmbH

Toulouser Allee 71
40476 Düsseldorf

Telefon: 0211 28048-1
Telefax: 0211 28048-320
izb@beton.org

www.beton.org
www.nachhaltig-bauen-mit-beton.de

Kontakt und Beratung vor Ort

Büro Berlin

Kochstraße 6–7
10969 Berlin
Telefon: 030 3087778-0
berlin@beton.org

Büro Hannover

Hannoversche Straße 21
31319 Sehnde
Telefon: 05132 502099-0
hannover@beton.org

Büro Beckum

Neustraße 1
59269 Beckum
Telefon: 02521 8730-0
beckum@beton.org

Büro Ostfildern

Gerhard-Koch-Straße 2 + 4
73760 Ostfildern
Telefon: 0711 32732-200
ostfildern@beton.org

Folgen Sie uns auch in den Sozialen Medien:

www.beton.org/socialmedia



@ izb_beton
in InformationsZentrum Beton GmbH
f beton.org
beton_org
betonfilme