

Wie gelingt die Dekarbonisierung des Betonbaus in der Praxis?

Dr. Christoph Müller, Geschäftsführer VDZ Technology gGmbH und Abteilungsleiter Betontechnik
 Manuel Mohr, Geschäftsführer InformationsZentrum Beton GmbH, IZB

Infobox: Kernaussagen des Artikels

- Eine klimaneutrale Betonbauweise ist möglich, aber eine große Herausforderung
- Die Mitwirkung der gesamten Wertschöpfungskette bis hin zu Planern und Architekten ist gefragt
- CO₂-effiziente Zemente und Betone können heute bereits verwendet werden
- CO₂-effiziente Bauteile und Konstruktionen aus Beton bieten weitere Potenziale
- Planer und Architekten nehmen eine entscheidende Rolle ein und sollten die Aspekte Ressourceneffizienz und Klimaschutz noch mehr in Ihre Überlegungen einbeziehen

Einführung in das Thema

Die Zementindustrie in Deutschland und damit die gesamte Wertschöpfungskette von Zement und Beton steht auf dem Weg zur Klimaneutralität vor großen Herausforderungen. Hintergrund ist, dass bei der Herstellung von Zement bzw. seinem Vorprodukt Zementklinker große Mengen an CO₂ freigesetzt werden. Rund zwei Drittel davon entfallen auf rohstoffbedingte Prozessemissionen aus der Entsäuerung des Kalksteins und rund ein Drittel auf energiebedingte CO₂-Emissionen aus dem Einsatz der Brennstoffe (Bild 1). Seit 1990 ist es den deutschen Zementherstellern gelungen, die CO₂-Emissionen sowohl spezifisch als auch absolut in einer Größenordnung von 20 bis 25 % zu reduzieren. Entscheidend für diese Minderungserfolge waren neben Verbesserungen der thermischen Effizienz vor allem zwei Fakto-

ren: Erstens die Senkung der Klinkergehalte im Zement und zweitens der verstärkte Einsatz biomassehaltiger alternativer Brennstoffe, durch die fossile Energieträger mehrheitlich ersetzt wurden.

Bei der weiteren Minderung ihrer CO₂-Emissionen stößt die Zementindustrie jedoch zunehmend an Grenzen, denn insbesondere die prozessbedingten CO₂-Emissionen der Klinkerherstellung sind mit konventionellen Maßnahmen nicht zu mindern. Die Zementindustrie benötigt dafür die Mitwirkung der gesamten Wertschöpfungskette, angefangen mit dem Anlagenbau und den Betonherstellern über die bauausführende Industrie bis hin zu Planern und Architekten. Zudem wird es darauf ankommen, neben konventionellen Minderungsmaßnahmen auch ganz neuartige Technologien in der Herstellung und Anwendung von

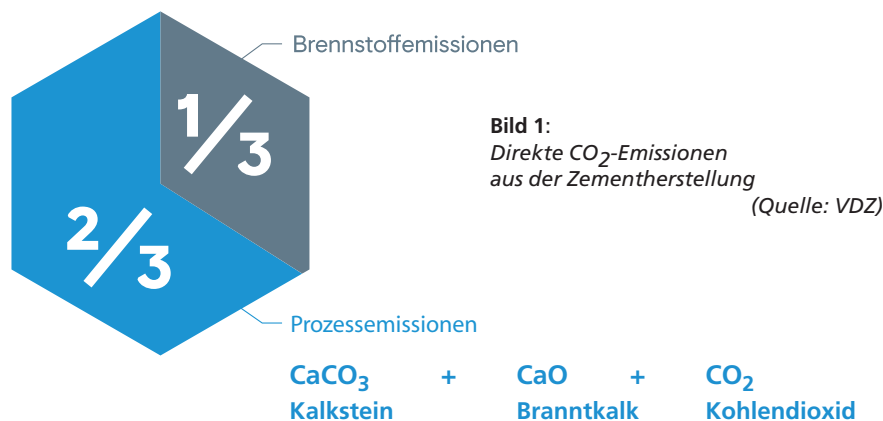
Zement und Beton einzusetzen. Dazu gehören neben der Verwendung teils neuer, CO₂-effizienter Rohstoffe in der Produktion von Zement und Beton sowie materialsparender Konstruktionsprinzipien letztlich auch die Abscheidung von CO₂ im Zementwerk und dessen anschließende Nutzung bzw. Speicherung („Carbon Capture and Utilisation/Storage“ – CCUS).

Der vorliegende Artikel fasst die wichtigsten Kernaussagen der Ende 2020 veröffentlichten Studie „Dekarbonisierung von Zement und Beton – Minderungspfade und Handlungsstrategien“ des VDZ [1] zusammen. Im Fokus steht dabei die Darstellung von CO₂-Minderungsoptionen, die Planer und Architekten sowie Bauherren bereits heute beeinflussen können, um den CO₂-Fußabdruck von Bauwerken oder Bauteilen aus Beton zu reduzieren. Gleichzeitig werden die Voraussetzungen für eine klimaneutrale Betonbauweise in 2050 aufgezeigt. Eine entscheidende Rolle für die Erreichung dieses Ziels spielt das Mitwirken aller am Bauprozess Beteiligten.

Der Weg der Betonbauweise zur Klimaneutralität

Die Dekarbonisierung von Zement und Beton macht Maßnahmen entlang der gesamten Wertschöpfungskette erforderlich. Die Studie betrachtet deshalb einen breiten Mix von Minderungsoptionen auf allen fünf Wertschöpfungsstufen der Betonbauweise (Klinker/Zement/Beton/Bauwerk/CO₂-Aufnahme im Beton) und stellt diese anhand von zwei Szenarien bis zum Jahr 2050 dar: Ein ambitioniertes Referenzszenario und ein Szenario Klimaneutralität. Ausgangspunkt ist die Frage, wie die heutigen CO₂-Emissionen der Zementindustrie in Deutschland von rund 20 Mio. Tonnen bis 2050 auf Netto-Null gesenkt werden können.

Aus Sicht von Planern, Architekten und Bauherren stellen dabei die Auswahl und Anwendung des Betons (einschließlich der verwendeten Zemente) sowie die Baukonstruktion inkl. deren



Nutzungsdauer die wesentlichen Einflussfaktoren dar. Im Folgenden werden zunächst die Ergebnisse der Szenarien kurz zusammengefasst und anschließend einzelne CO₂-Minderungsoptionen, die aus Sicht der Planung besonders relevant erscheinen, vertieft betrachtet.

Das **ambitionierte Referenzszenario** basiert im Kern auf dem Einsatz heute verfügbarer CO₂-Minderungstechnologien und legt hierbei sehr anspruchsvolle Annahmen zugrunde. Es ist insofern keineswegs als „business-as-usual“-Pfad zu verstehen. Neben weiteren deutlichen Steigerungen der thermischen Effizienz und des Einsatzes biomassereicher alternativer Brennstoffe bei der Zementklinkerherstellung wird hier beispielsweise auch ein breiter Einsatz von CO₂-effizienten CEM II/C-Zementen in der Praxis angenommen, deren Normung in Kürze abgeschlossen sein wird. Mit einem Klinkeranteil zwischen 50 und 65 % wird diese neue Zementart deutlich zur CO₂-Minderung beitragen. Zudem führen Weiterentwicklungen der Betonbauweise im Sinne der Ressourceneffizienz zu Materialeinsparungen und damit auch in gewissem Umfang zur CO₂-Reduzierung.

Das **Szenario Klimaneutralität** geht über das ambitionierte Referenzszenario noch einmal hinaus und stößt damit an die Grenzen des aus heutiger Sicht

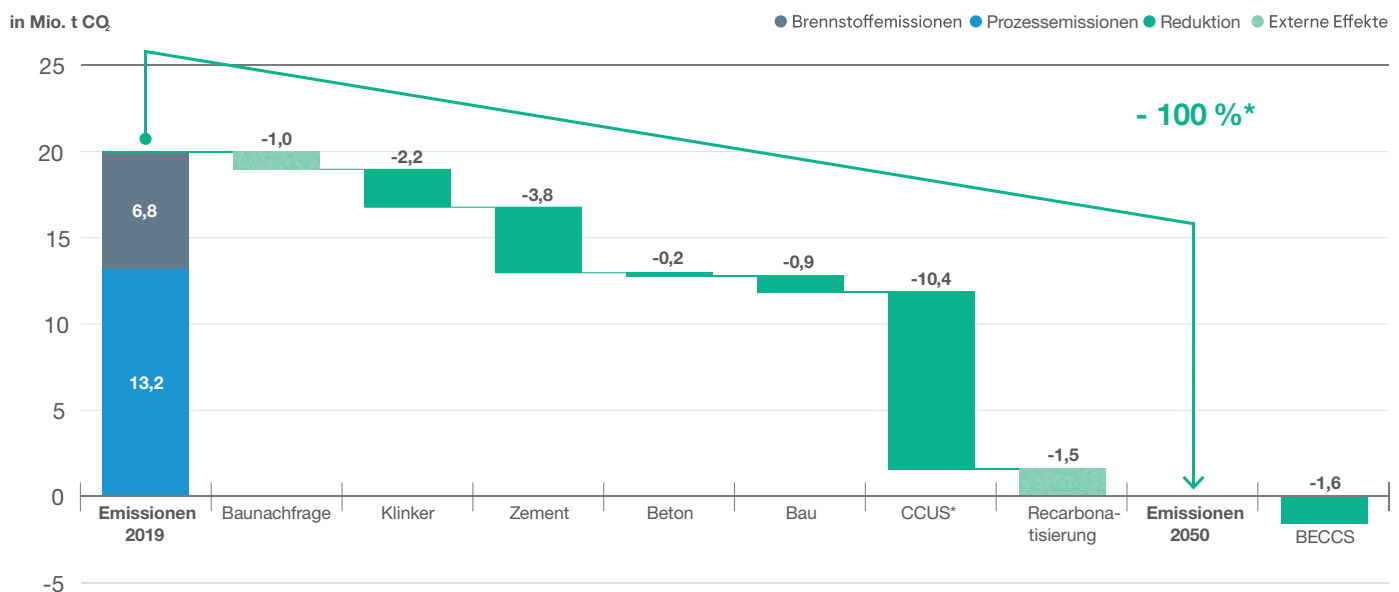
technisch Machbaren. Wesentlicher Unterschied gegenüber dem Referenzszenario ist die zusätzliche Anwendung von Breakthrough-Technologien. Hierzu zählen etwa die Markteinführung von CEM VI-Zementen mit einem Klinkeranteil zwischen 35 und 50 % oder der Einsatz von Wasserstoff als Energieträger bei der Zementklinkerherstellung. CEM VI-Zemente werden in der nächsten Zementnorm bereits enthalten sein. Anwendungsregeln müssen aber noch geschaffen werden. Unter Umständen müssen dafür beton-technologische Eckpunkte, wie zum Beispiel die maximalen Wasserzementwerte in Abhängigkeit von den Expositionsklassen, modifiziert werden. Außerdem werden weitere Effizienzsteigerungen und Innovationen in der Herstellung und Anwendung von Beton angenommen. Dadurch wird in Summe rund die Hälfte der heutigen Emissionen gemindert. Die verbleibende CO₂-Menge in Höhe von rund 10 Mio. Tonnen pro Jahr wird in diesem Szenario schließlich durch den flächendeckenden Einsatz von CCUS-Technologien reduziert. Zusätzlich können durch die nachhaltige Nutzung von biomassereichen Abfällen als Brennstoff bei gleichzeitiger CO₂-Abscheidung (BECCS) jährlich etwa 1,6 Mio. Tonnen CO₂ aus der Atmosphäre entnommen werden. Rechnerisch werden die Gesamtemissionen somit um mehr als 100 % verringert (**Bild 2**).

CO₂-effiziente Zemente und Betone 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 definierten 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 große Bedeutung zu. Die Verringerung des Klinkergehalts ist dabei ein Hebel, um den CO₂-Fußabdruck von Zementen und Betonen zu reduzieren.

Die Verwendung von klinkereffizienten Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen hat in Deutschland eine lange und erfolgreiche Tradition. Portlandhüttenzemente CEM II-S und Hochofenzemente CEM III mit Hütten sand als Hauptbestandteil neben dem Portlandzementklinker werden seit mehr als einem Jahrhundert industriell hergestellt und verwendet. Heute werden Hochofenzemente CEM III/A mit etwa 50 % Portlandzementklinker in einigen Regionen als Regelzemente für die Herstellung von Transportbeton im

Bild 2: Szenario Klimaneutralität – CO₂-Minderung bis 2050 [1]



* Davon ca. 88 % Minderung durch Maßnahmen der Wertschöpfungskette. Die verbleibenden Emissionen werden durch den erwarteten Rückgang der Baunachfrage sowie den Beitrag der Recarbonatisierung reduziert.

** CCUS: Carbon-Capture-Technologien mit dem Ziel der Vermeidung von CO₂-Emissionen in die Atmosphäre durch CO₂-Speicherung (CCS) und geeignete Verfahren zur CO₂-Nutzung (CCU).

Quelle: VDZ

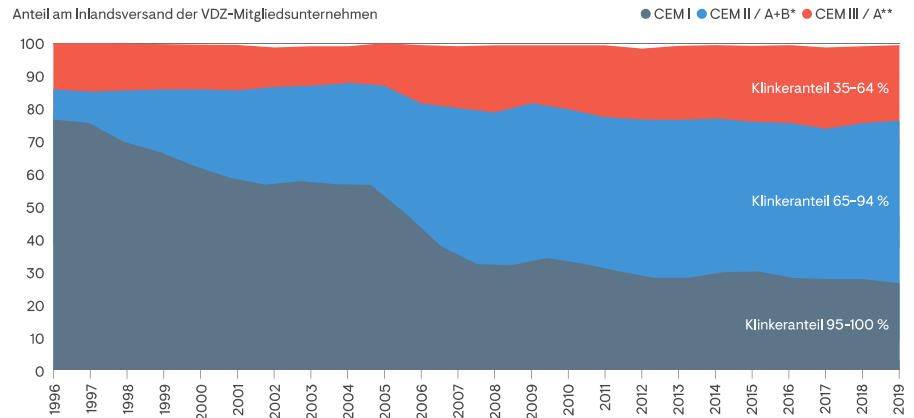
Hoch- und Ingenieurbau verwendet. Portlandkalksteinzemente CEM II/A-LL mit 80 - 85 % Portlandzementklinker werden in Deutschland seit Beginn der 1980er Jahre hergestellt und im Beton eingesetzt. Die Einführung erfolgte zunächst über allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen. Im Jahre 1994 wurden Portlandkalksteinzemente in Deutschland, damals noch in der nationalen Zementnorm DIN 1164-1, gemeinsam mit weiteren Portlandkompositzementen genormt. Von regionaler Bedeutung sind zum Beispiel Portlandölschieferzemente. Einige deutsche Zementhersteller haben in den vergangenen ca. 15 Jahren zudem Portlandkompositzemente CEM II/A-M und CEM II/B-M mit Portlandzementklinkergehalten zwischen 65 und etwa 85 % entwickelt und in den Markt eingeführt. Vor diesem Hintergrund hat der Anteil der Portlandzemente CEM I am Inlandversand kontinuierlich abgenommen und der der CEM II Zemente entsprechend zugenommen (Bild 3).

Klinkereffiziente Zemente kommen in Deutschland also bereits seit vielen Jahren zum Einsatz, auch weil dadurch die CO₂-Emissionen aus der Zementherstellung reduziert werden können. Der Klinker-Zement-Faktor konnte in den letzten Jahrzehnten auf 71 % gesenkt werden. Dadurch haben die Zementhersteller in Deutschland in signifikanter Weise CO₂-Emissionen eingespart.

Die aktuellen Betonnormen DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 enthalten die Anwendungsregeln für Normzemente in Abhängigkeit von den Expositionsklassenⁱ. Erhalten 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 (Auflistung des DIBt 01/2021) gibt es 23 dieser Zulassungenⁱⁱ.

Somit sind neben Portlandzementen folgende Zementarten in allen Expositionsklassen verwendbar:

- 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



Anmerkungen:

Differenz zu 100 % verteilt sich auf CEM IV, CEM V und sonstige Bindemittel;

* CEM II/A+B unterteilt sich größtenteils in Portlandhütten-, Portlandkalkstein- und Portlandkompositzemente;

** Deckt in Deutschland ca. 95 % aller CEM III-Zemente ab

Bild 3:

Trend zu klinkereffizienten Zementen im Produktmix der vergangenen Jahre [1]

- Portlandkalksteinzement CEM II/B-LL mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (Anwendungszulassung AZ)
- Portlandflugaschezemente CEM II/A-V und CEM II/B-V
- Portlandpuzzolanement CEM II/B-P mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (Anwendungszulassung AZ)
- Portlandkompositzemente CEM II/A-M mit den weiteren Hauptbestandteilen S, LL, T, D bzw. V
- Portlandkompositzemente CEM II/B-M mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (Anwendungszulassung AZ)
- Hochofenzemente CEM III/A ¹⁾ und CEM III/B ²⁾

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

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

- Meerwasserbauteile: $w/z \geq 0,45$; Mindestfestigkeitsklasse C 35/45 und $z \geq 340 \text{ kg/m}^3$
- Räumeraufbahnen $w/z \leq 0,35$; Mindestfestigkeitsklasse C40/50 und $z \geq 360 \text{ kg/m}^3$

Die neuen Portlandkompositzemente CEM II/C-M, für die seit wenigen Monaten erste allgemeine bauaufsichtliche

Zulassungen (Anwendungszulassung AZ) vorliegen, können derzeit für alle Expositionsklassen außer XF2, XF3 und XF4 verwendet werden. Auf der Grundlage der Untersuchungen in [3] wird diese Regelung 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.

Für die Berechnungen in [1] wurde angenommen, dass zur Herstellung von Innen- und normalen Außenbauteilen des Hochbaus als Ortbeton vermehrt Zemente mit geringerem Klinkeranteil, wie zum Beispiel CEM II/C-Zemente (zwischen 50 und 65 % Portlandzementklinker), verwendet werden. So erhöht sich der Anteil dieser Zemente in diesem Marktsegment im ambitionierten Referenzszenario auf 50 % in 2030 bzw. auf 100 % in 2050. Im klimaneutralen Szenario liegt der Anteil von CEM II/C-Zementen in den genannten Anwendungen bereits in 2030 bei 100 %. In 2050 werden für die genannten Anwendungen ausschließlich CEM VI-Zemente eingesetzt.

In die Produktgruppe „Konstruktive Fertigteile“ fallen unter anderem

großformatige Wand- und Deckenplatten aus Beton. Da hier ein schnelleres Aushärten des Betons (kürzere Aushaltfristen) und damit höhere Klinkergehalte im Zement erforderlich sind, wird für das ambitionierte Referenzszenario das gleiche Zementportfolio zugrunde gelegt wie im Status quo. Erst im klimaneutralen Szenario werden hier klinkereffizientere CEM II/C-Zemente verwendet (2030: 20 %, 2050: 30 %).

CO₂-effiziente Bauteile und Konstruktionen aus Beton bieten weitere Potenziale

Bauteile mit reduziertem Betoneinsatz können bei einer für den jeweiligen Anwendungszweck angemessenen Leistungsfähigkeit dazu beitragen, Ressourcen und CO₂ einzusparen. Folgende Maßnahmen sind hierbei aus heutiger Sicht von Bedeutung:

Flach- bzw. Hohldecken

Mit vorgespannten Flach- bzw. Hohldecken besteht zum Beispiel bereits heute die Möglichkeit, den Materialeinsatz zu optimieren, wenn alle zu berücksichtigenden Randbedingungen, wie z. B. Schall- und Brandschutz, dies zulassen. Nach [5] benötigen Spannbeton-Fertigdecken im Vergleich zu anderen Betondeckensystemen bei vergleichbaren statischen Anforderungen an die Decke bis zu 50 % weniger Beton und bis zu 75 % weniger Stahl.

Auch wenn sich diese Angaben nicht verallgemeinern lassen, wird aus einer Reihe von Studien und Veröffentlichungen doch deutlich, dass vergleichbar leistungsfähige Bauteile so mit geringerem Ressourceneinsatz und geringerer CO₂-Intensität hergestellt werden könnten. Der Planer wird im Einzelfall entscheiden müssen, welche Lösung unter Berücksichtigung aller Randbedingungen aus Tragwerkplanung, Bauphysik, Brandschutz etc. gewählt werden kann. Die Frage der Ressourceneffizienz scheint in der heute gängigen Planungspraxis noch eher von untergeordneter Bedeutung zu sein. In dieser Studie wurde eine moderate Steigerung der Nutzung von Flach- und Hohldecken oder vergleichbarer weiterer Ansätze angenommen.

Stellvertretend auch für andere Bauteile wurde in [1] bei Betondecken auch eine gewisse Verlagerung vom Ortbeton hin zur Vorfertigung angenommen. Damit einher geht die Annahme, dass es sich bei den vorgefertigten Dek-

ken z. B. um Spannbetonhohldecken mit einem verminderten Betonanteil handelt. Das Verhältnis zwischen den vor Ort hergestellten Massivdecken und den Spannbetonhohldecken verändert sich in beiden Szenarien im Vergleich zum Status quo deutlich.

So wird mit einem Hohldecken-Anteil von 25 % in 2030 bzw. von 50 % in 2050 gerechnet (2019: 3 %). Auch die Ortbetonbauweise bietet bei einer Erhöhung des Industrialisierungsgrades entsprechende Möglichkeiten der Effizienzsteigerung.

Carbonbeton

Zu den weiteren Ansätzen gehört auch der Carbonbeton. Das Projektkonsortium C³ – Carbon Concrete Composite entwickelt in Zusammenarbeit mit über 160 Partnern aus Forschung und Praxis seit einigen Jahren diesen neuartigen Verbundwerkstoff. Statt Baustahl dienen textile und stabförmige Strukturen aus hochzugfesten Carbonfasern als Bewehrungsmaterial, wodurch die Dauerhaftigkeit erhöht und damit die Lebensdauer von Bauteilen und Bauwerken verlängert sowie Ressourcen und CO₂-Emissionen eingespart werden sollen [6].

Bei Vergleichen z. B. eines Doppel-Trägers aus Carbonbeton und Stahlbeton mit äquivalenter Tragfähigkeit in [7] oder auch einer Carbon- und einer Stahlbetonbrücke in [6] werden Möglichkeiten der Einsparung des Betons von teilweise 50 % sowie eine Verringerung des Globalen Erwärmungspotenzials (GWP) und damit eine Verringerung der CO₂-Emissionen für die Herstellung z. B. der Brücke von 30 % angegeben. Es ist heute schwierig, vorherzusehen, welchen Weg diese Technologie in der Praxis nehmen wird, zumal auch Fragen des Recyclings noch weiter erforscht werden müssen. Im Zuge der Erarbeitung der Studie wurden moderate Anteile an Carbonbeton an der gesamten zukünftigen Betonmenge angenommen.

Additive Fertigung

Entwicklungen im Bereich der additiven Fertigung werden vielfach unter dem Schlagwort „3D-Druck“ zusammengefasst. Einen Überblick zu den Potenzialen dieser Technologien geben z. B. [8, 9]. Derzeit sind die Effekte dieser neuen Verfahren in den Bereichen Ressourceneffizienz und Klimaschutz im Detail kaum abzuschätzen. Eine Quantifizierung erfolgte im Rah-

men der Szenarien bisher nicht. Sie sind in den „betoneinsparenden“ Ansätzen wie „Hohldecke“ und „Carbonbeton“ sinngemäß enthalten.

Neben Flachdecken und Spannbetonhohldecken sind somit weitere Technologien vorstellbar, mit denen bei gleichen Bauteileigenschaften geringere Betonmengen erforderlich wären. Als Beispiele wurden der Carbonbeton oder auch Betone aus additiver Fertigung (3D-Druck) genannt. Diese Technologien spielen im ambitionierten Referenzszenario erst nach 2030 eine größere Rolle: 10 % des Stahlbetonbaus (Ortbeton + Betonfertigteile) werden bis 2050 durch derartige Lösungen ersetzt. Für die entsprechenden Bauteile wird mit einer Betoneinsparung von im Mittel 20 % gerechnet. Im Szenario Klimaneutralität wird eine Einsparung von 20 % in 10 % der Anwendungen bereits im Jahr 2030 erreicht, während in 2050 20 % des Stahlbetonbaus ersetzt werden. Hier wird für die entsprechenden Bauteile eine Verringerung der Betonmenge im Mittel um 30 % angenommen.

Gradientenbeton und Leichtbau

Im Gradientenbeton wird die Betonzusammensetzung über den Querschnitt eines Bauteils variiert. Das Prinzip beruht darauf, dass Beton in tragenden Bauteilen nicht über den ganzen Querschnitt gleich stark beansprucht wird. So hat Gradientenbeton nach außen ein dichtes Gefüge mit hoher Tragfähigkeit und weist zugleich im Wandkern eine hohe Wärmedämmung durch Lufteinschlüsse auf. Infralichtbetone ermöglichen auf ähnliche Weise durch ihre poröse Gesteinskörnung und einen entsprechend hohen Luftanteil Außenwandkonstruktionen ohne zusätzliche Wärmedämmung [10]. Mit hochfesten und ultrahochfesten Betonen lassen sich zudem schlanke Bauteile bei hohen Beanspruchungen erzielen [11]. Bei einer Stütze gleicher Tragfähigkeit können bereits bei Verwendung eines Betons C50/60 statt eines Betons C25/30 aufgrund der Querschnittsreduzierung der Klinkergehalt und damit die CO₂-Emissionen je Meter Stützhöhe um etwa 20 % reduziert werden.

Mit den in diesem Unterkapitel genannten Technologien können in bestimmten Anwendungsbereichen höhere Materialeffizienzen und somit Einsparungen bei Ressourcen, Energie und Emissionen erreicht werden. Wie

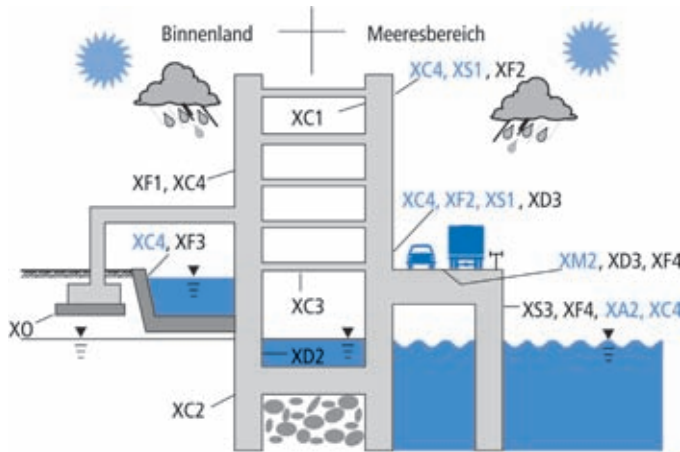
hoch diese Effekte ausfallen, kann zum Teil erst abgeschätzt werden, wenn entsprechende konstruktive Lösungen für Gebäudestrukturen entwickelt worden sind. Die betontechnischen und konstruktiven Voraussetzungen zum Einsatz ressourcenschonender Bauteile sind zudem in vielen Fällen noch in der Entwicklung oder beschränken sich auf Pilotprojekte. In Zukunft könnten sogar völlig neue Konstruktionsprinzipien entwickelt werden, wenn man mit baubionischen Strukturen den Prinzipien der Natur folgt [12].

Einiges ist also noch „Zukunftsmusik“. Der Planer kann aber bereits heute einen Beitrag leisten.

Was Planer und Ausschreibende heute bereits tun können

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 Expositionsklassen fest (Bild 4).



Quelle: VDZ

Bild 4: Expositionsklassen und Feuchtigkeitsklassen an Bauteilmustern (Schwarz gedruckte Expositionsklassen bestimmen die Betonzusammensetzung)

Wie zuvor beschrieben können für Betone im üblichen Hochbau (Innenbauteile XC1 und Außenbauteile XC4/XF1) je nach Verfügbarkeit alle genannten Zementarten verwendet werden. Die Festigkeitsentwicklung von Betonen mit CEM II- und CEM III/A-Zementen ist unter baupraktischen Bedingungen ebenfalls vergleichbar. Um den Anforderungen der Praxis an die Frühfestigkeit zu genügen, werden CEM II/B- und CEM III/A-Zemente in vielen Fällen in der Festigkeitsklasse 42,5 N angeboten. In Bild 5 ist die relative Druckfestigkeitsentwicklung von Betonen auf Basis handelsüblicher CEM I-, CEM II- und CEM III/A-Zemente der

Festigkeitsklassen 32,5 R und 42,5 N bei vergleichbaren Betonzusammensetzungen und Lagerungsbedingungen beispielhaft dargestellt. Die Relativwerte ergeben sich aus dem Bezug der Betondruckfestigkeit im Alter von 2, 7 bzw. 28 Tagen auf die 28-Tage-Druckfestigkeit des Betons. Zum Vergleich sind ergänzend die Prüfwerte für einen CEM III/A 32,5 N enthalten. Die ausgewiesenen Ergebnisse ermöglichen die Einstufung der untersuchten Betone in die mittlere bzw. langsame Festigkeitsentwicklung. Dementsprechend ist hier nur der Beton mit dem Zement CEM III/A 32,5 N als langsam einzustufen. Diese Einstufung ist maßgebend für die Dauer der Nachbehandlung [2].

Für eine Bauaufgabe stehen somit verschiedene Zemente mit vergleichbarer technischer Leistungsfähigkeit zur Verfügung, für deren Herstellung pro Tonne unterschiedlich viel CO₂ freigesetzt wird. Bild 6 zeigt dies am Beispiel des mittleren deutschen Zements CEM II im Vergleich zu CEM I (Portlandzement) und CEM III/A (Hochofenzement mit 50 % Hüttensand).

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 verfügba-

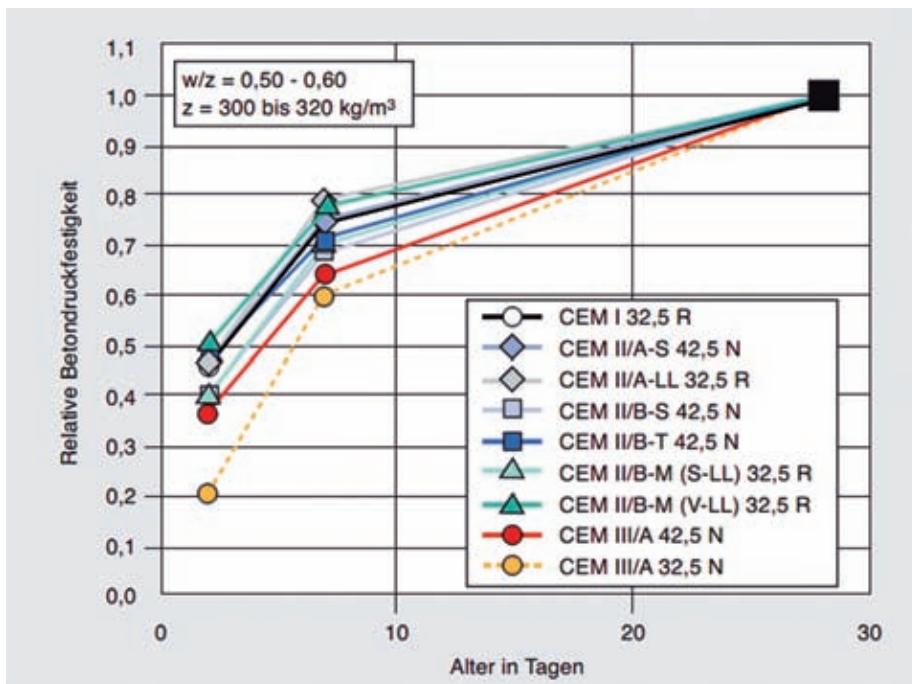


Bild 5: Relative Druckfestigkeit von Betonen mit verschiedenen CEM II- und CEM III/A-Zementen im Vergleich zum CEM I-Beton [2]

ren Ressourcen zu beachten. Es kommt also auf eine gute Kommunikation der am Bau Beteiligten an.

In der nächsten Generation der Betonnormen DIN 1045 sind daher unter dem Stichwort „BetonBauQualität BBQ“ zwecks Austausch relevanter Informationen und der Abstimmung wesentlicher Entscheidungen in vielen Fällen verbindliche BBQ-Ausschreibungs- und BBQ-Ausführungsgespräche vorgesehen. Im BBQ-Ausschreibungsgespräch erarbeiten Objektplaner, Tragwerkplaner, Ausschreibender und ein Experte für Betonbautechnik gemeinsam die Festlegungen für die Ausschreibung zu Herstellung, Einbau und Nachbehandlung von Beton, unter Einbeziehung projektspezifischer Randbedingungen u. a. auch zur Nutzung von örtlich vorhandenen und verfügbaren Ressourcen. Hier lassen sich dann ebenfalls gemeinsam Ziele für Ressourceneffizienz und Klimaschutz vereinbaren. Bei konkreten Fragen hierzu stehen der VDZ und das IZBⁱⁱⁱ als Ansprechpartner zur Verfügung.

Tabelle 1 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 unter www.beton.org)

Die Tabelle enthält zur Orientierung

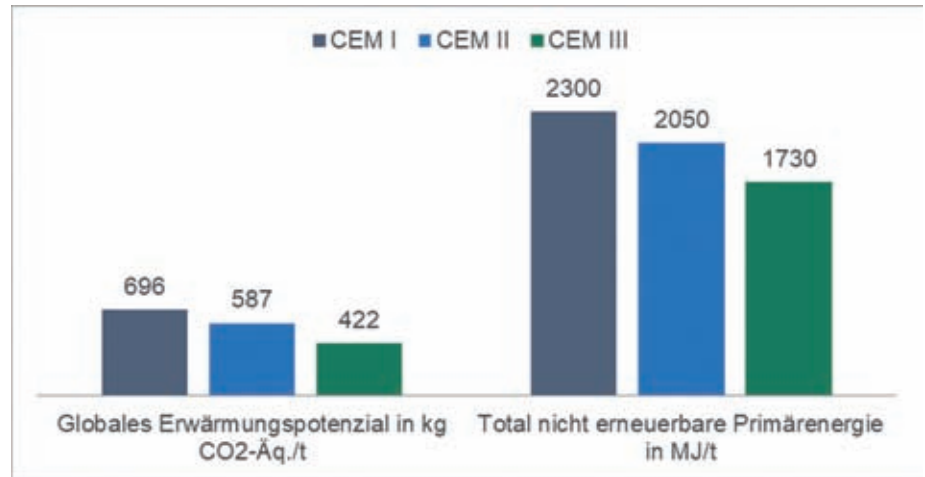


Bild 6: Globales Erwärmungspotenzial und nicht erneuerbare Primärenergie von Zement in Deutschland: Generischer mittlerer Zement CEM II, generischer Portlandlandzement CEM I, generischer Hochofenzement CEM IIIA mit 50 % Hüttensand [4]

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 2** eine Darstellung unter Berücksichtigung der Leistungsfähigkeit des Betons (CO₂-Äquivalent/(m³ Beton x MPa)). Die Anwendbarkeit nach Expositionsclassen 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.

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.

Eine klimaneutrale Betonbauweise ist möglich

Der vorliegende Artikel hat aufgezeigt, dass auf dem Weg zur klimaneutralen Betonbauweise ein umfangreicher Maßnahmen-Mix entlang der gesamten Wertschöpfungskette von Zement und Beton notwendig ist. So

Tabelle 1: Orientierungswerte für Treibhausgasemissionen von Beton

Quelle: VDZ

1	Bezeichnung	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 35/45	C 45/55	C 50/60
2		Treibhausgasemissionen (kg CO ₂ -Äquivalent/m ³ Beton)					
3	Beton z. B. mit CEM VI o. ä.	150	160	180	200	230	250
4	Beton z. B. mit CEM III/A, CEM II/C o. ä.	170	180	210	230	260	280
5	Beton heutiger Durchschnitt	210	230	260	290	330	350
6	Beton z. B. mit CEM I o. ä.	250	280	310	350	400	420

Tabelle 2: Orientierungswerte für leistungsbezogene Treibhausgasemissionen von Beton

Quelle: VDZ

1	Bezeichnung	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 35/45	C 45/55	C 50/60
2		leistungsbezogene Treibhausgasemissionen (kg CO ₂ -Äquivalent/m ³ x MPa)					
3	Beton z. B. mit CEM VI o. ä.	5,2	4,7	4,4	4,1	3,9	3,9
4	Beton z. B. mit CEM III/A, CEM II/C o. ä.	5,9	5,3	5,1	4,7	4,4	4,4
5	Beton heutiger Durchschnitt	7,2	6,8	6,3	5,9	5,6	5,5
6	Beton z. B. mit CEM I o. ä.	8,6	8,2	7,6	7,1	6,8	6,6

lassen sich bereits heute bei vergleichbarer technischer Leistungsfähigkeit bevorzugt Betone unter Verwendung klinkereffizienter Zemente (z. B. CEM II- bzw. CEM III-Zemente) einsetzen. Dabei sind jedoch regionale Unterschiede in der Verfügbarkeit der Zemente bzw. der für ihre Herstellung notwendigen Rohstoffe zu beachten. Zudem bieten CO₂-effiziente Bauteile und Konstruktionen aus Beton weitere Potenziale.

Gleichzeitig gilt es, die notwendigen normativen und rechtlichen Voraussetzungen zu schaffen, damit neue, besonders CO₂-effiziente Zemente und Betone in die Anwendung kommen. Dies betrifft einerseits die Überarbeitung bestehender Normen und Regelwerke, an denen die Branche mit Hochdruck arbeitet, aber auch die Frage, wie beispielsweise Anreize für den Einsatz CO₂-effizienter Betone in Ausschreibungen gesetzt werden könnten.

Doch die Dekarbonisierung ist nicht nur eine technische Herausforderung. Es bedarf vielmehr der engagierten Mitwirkung aller am Bauprozess Beteiligten. Planer und Architekten nehmen hier eine entscheidende Rolle ein und sind aufgerufen, in Zukunft viel stärker als bisher die Aspekte Ressourceneffizienz und Klimaschutz in Ihre Überlegungen einzubeziehen. Der VDZ, das IZB und die Zementhersteller in Deutschland ihrerseits stehen für einen breit angelegten Dialog zur Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen entlang der Wertschöpfungskette bereit.

Quellenangaben:

- [1] Verein Deutscher Zementwerke, VDZ, Hrsg. Dekarbonisierung von Zement und Beton – Minderungspfade und Handlungsstrategien. Düsseldorf, 2020
 - [2] CEM II- und CEM III/A-Zemente im Betonbau – Nachhaltige Lösungen für das Bauen mit Beton (2008) – zu beziehen über www.beton.org
 - [3] Müller, C.; Palm, S.; Hermerschmidt, W.. Dauerhaftigkeitseigenschaften von Betonen mit CEM II/C-M (S-LL)- und CEM II/B-LL-Zementen: Auswertung vorhandener Studien. Beton. 2019, 69(10), S.362-371
 - [4] Verein Deutscher Zementwerke e.V.: Umweltproduktdeklarationen für verschiedene Zemente; verifiziert und freigegeben durch das Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU)
 - [5] Bundesverband Spannbeton-Fertigdecken, Hrsg. Die Zukunft Spannbeton-Fertigdecken: schnell – flexibel – wirtschaftlich. Berlin, 2019 Verfügbar unter: https://www.spannbetonfertigdecken.de/images/BVSF-Imagebrochure_2019.pdf
 - [6] Seifert, W.; Lieboldt, M.. Ressourcenverbrauch im globalen Stahlbetonbau und Potenziale der Carbonbetonbauweise: Globale Herausforderungen des Bauwesens. Beton- und Stahlbetonbau. 2020, 115(6), S.469-478
 - [7] Seifert, W.; Lieboldt, M.; Curbach, M.. Ressourcenverfügbarkeit und Konsequenzen bei der Planung von Betonbauwerken. Beton. 2019, 69(9), S.321-322
 - [8] Flatt, R. J.; Wangler, Timothy. Digital Concrete 2018: Special Issue. Cement and Concrete Research. 2018, 112(SI)
 - [9] Digital Concrete 2020: Sonderheft. CPT Worldwide – Construction Printing Technology. 2020, (2), S.1-71
 - [10] Lösch, C.; Rieseberg, P. Infralichtbeton: Entwurf, Konstruktion, Bau. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verl., 2018
 - [11] Fischer, Oliver; Gehrlein, Sebastian; Lechner, Thomas; Mensinger, Martin; Ndogmo, Josef; Seidl, Günter. Entwicklung ressourcenschonender, modularer Betonkonstruktionen aus Ultrahochleistungsbeton (UHPC). Stuttgart, 2017 (IRB-Forschungsbericht F 3053) Verfügbar unter: <https://www.irbnet.de/daten/rswb/17119008933.pdf>
 - [12] Wörner, M.; Schmeer, D.; Schuler, B.; Pfinder, J.; Garrecht, H.; Sawodny, O.; Sobek, W.. Gradientenbetontechnologie: Von der Mischungsentwicklung über den Bauteilentwurf bis zur automatisierten Herstellung. Beton- und Stahlbetonbau. 2016, 111(12), S.794-805
- i Zum Zeitpunkt der Einführung dieser Normen etwa ab 2002 galten für einige Normzemente Anwendungsbeschränkungen, die vor allem auf die in Deutschland noch nicht hinreichenden praktischen Erfahrungen zurückzuführen waren. Da die derzeit gültige Normausgabe aus dem Jahr 2008 datiert, sind die Anwendungsbeschränkungen noch enthalten.
- ii CEM II/B-M (S-LL): 13
CEM II/B-M (V-LL): 3
CEM II/B-M (T-LL): 2
CEM II/B-M (S-V): 1
CEM II/B-LL: 1
CEM II/A-P und CEM II/B-P: 1
CEM II/C-M (S-LL): 2
- iii www.vdz-online.de und www.beton.org

Pressemitteilung vom 18. Mai 2021

4. Corona-Kurzbefragung zeigt:

Planungsbüros stemmen sich weiterhin gegen Auswirkungen der Pandemie

Die Zahl der Planungsbüros, die negative wirtschaftliche Folgen spüren, ist in den vergangenen 12 Monaten kontinuierlich zurückgegangen. Nach wie vor gibt jedoch ein Drittel der Befragten an, unter den wirtschaftlichen Folgen der Corona-Pandemie zu leiden. Ebenfalls gut 30 Prozent der Büroinhaber erwarten für die kommenden drei Monate eine Verschlechterung der wirtschaftlichen Lage. Betroffen sind vor allem Büros mit gewerblichen und

öffentlichen Auftraggebern. Das ergab die vierte bundesweite Befragung von Bundesingenieurkammer und Bundesarchitektenkammer, an der sich mehr als 5.000 Planerinnen und Planer beteiligten.

„Die Ergebnisse lassen durchaus hoffen. Es gilt jedoch, das Potenzial der Planerinnen und Planer zu nutzen. Denn es ist die Grundlage für jede erfolgreiche Bautätigkeit und bietet die Chance, dass das Planungswesen

gemeinsam mit den bauausführenden Betrieben zur Konjunktur-Lokomotive nach der Corona-Pandemie wird. Voraussetzung hierfür ist, dass die Kommunen weiterhin und nachhaltig gestärkt werden, um die anstehenden Aufgaben bewältigen zu können. Wir können uns aus mehrfacher Sicht einen Stau beim Bau oder der dringend nötigen Sanierung von Straßen, Schulen oder Sportplätzen nicht leisten“, kommentierte der Präsident der Bundesin-

