

NEWSLETTERTECHNIK

September 2021

Engineering & Innovation

HEIDELBERGCEMENT



Liebe Leserinnen, liebe Leser,

auch diese Ausgabe unseres Newsletter Technik steht ganz im Zeichen der CO₂-Thematik, aktuell eine der größten Herausforderungen, der sich die Gesellschaft und auch die Bauindustrie stellen müssen.

Lesen Sie in dieser Ausgabe wie die Dekarbonisierung des Betonbaus in der Praxis gelingen kann. Dr. Christoph Müller, Leiter der Abteilung Betontechnik und Manuel Mohr, Leiter der Abteilung Politik und Wirtschaft im Verein der deutschen Zementindustrie (VDZ) fassen in ihrem Beitrag die zentralen Erkenntnisse der vom VDZ herausgegebenen Studie „Dekarbonisierung von Zement und Beton – Minderungspfade und Handlungsstrategien“ zusammen und benennen die wesentlichen Stellschrauben sowie die großen Herausforderungen bei der Transformation hin zu einer klimaneutralen Bauweise.

Als neue, nicht harmonisierte europäische Zementnorm ist die DIN EN 197-5 erschienen. Als neue Zementarten werden in dieser Norm CEM II/C-M- und CEM VI-Zemente genormt, deren Anwendung im Beton ein wesentlicher Baustein auf dem Weg der Dekarbonisierung der Zementindustrie ist. Eine Übersicht über die neuen Zementarten finden Sie im zweiten Artikel dieser Newsletter-Ausgabe.

Im dritten Beitrag gibt Dr. Frank Bullerjahn, Senior Scientist im Bereich Global R&D von Heidelberg Cement einen Überblick über das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Forschungsprojekt „Save CO₂“, an dem HeidelbergCement als Forschungspartner beteiligt ist. In diesem Projekt werden, neuartige Schlacken hergestellt und untersucht. Ein wesentliches Ziel ist, diese neuen Schlacken für die Verwendung in der Zementindustrie zu optimieren.

Wir hoffen, dass auch diese Ausgabe unseres Newsletter Technik Ihr Interesse findet und freuen uns auf einen konstruktiven Austausch mit Ihnen.



Ihre

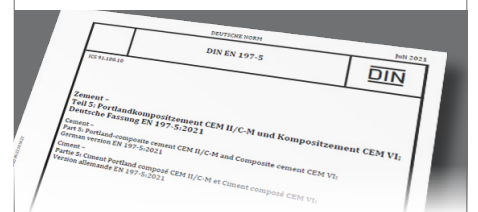
Dagmar Küchlin

Teamleiterin Anwendungstechnik Zement,
Abteilung Engineering & Innovation, Leimen



Wie gelingt die Dekarbonisierung des Betonbaus in der Praxis?

[mehr »](#)



Die neue Zementnorm DIN EN 197-5 für CEM II/C- und CEM VI-Zemente ist erschienen

[mehr »](#)



Forschungsprojekt „SAVE CO₂“: Neuartige Schlacken für Zemente der Zukunft

[mehr »](#)





↑ CO₂-Abscheidung mit Leilac-Verfahren im Zementwerk Lixhe, Belgien.

Wie gelingt die Dekarbonisierung des Betonbaus in der Praxis?

vdz



Dr. Christoph Müller

Geschäftsführer VDZ Technology gGmbH
und Abteilungsleiter Betontechnik,
Düsseldorf



Manuel Mohr

Geschäftsführer InformationsZentrum
Beton GmbH, IZB und Abteilungsleiter
Politik und Wirtschaft, VDZ

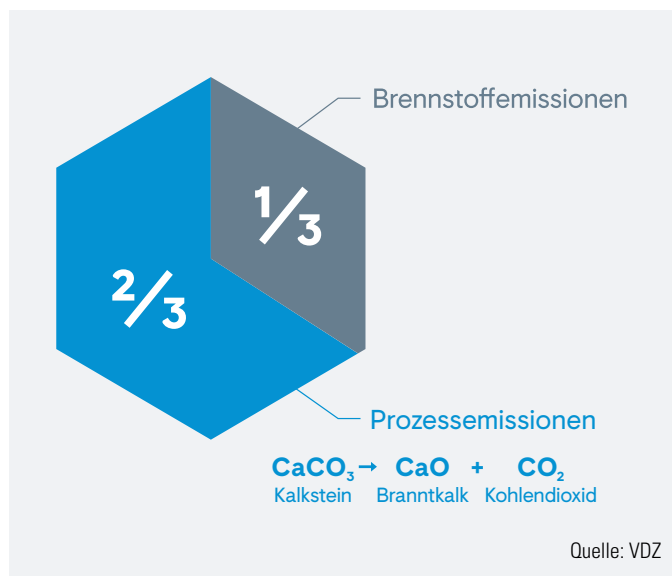
Angesichts des globalen Klimawandels gilt es, die Treibhausgasemissionen weltweit innerhalb weniger Jahrzehnte drastisch zu reduzieren. Auch die Zementindustrie steht dabei im Fokus. „Wir als Branche in Deutschland übernehmen Verantwortung und sind bereit, unseren Beitrag für eine klimaneutrale Zukunft zu leisten“, so Christian Knell, Präsident des Vereins Deutscher Zementwerke (VDZ).

Wie diese Transformation bis 2050 gelingen kann, zeigt die Studie „Dekarbonisierung von Zement und Beton – Minderungspfade und Handlungsstrategien“ des VDZ[1], die im November 2020 veröffentlicht wurde.

Der folgende Beitrag greift die zentralen Erkenntnisse der VDZ-Studie auf und betrachtet die zu erwartenden Folgen für das Bauen mit Beton. Wesentliche Teile des Textes wurden aus [1] und [2] übernommen.

► Wie gelingt die Dekarbonisierung des Betonbaus in der Praxis?

Die Zementindustrie in Deutschland und damit die gesamte Wertschöpfungskette von Zement und Beton stehen 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 (Abbildung 1).

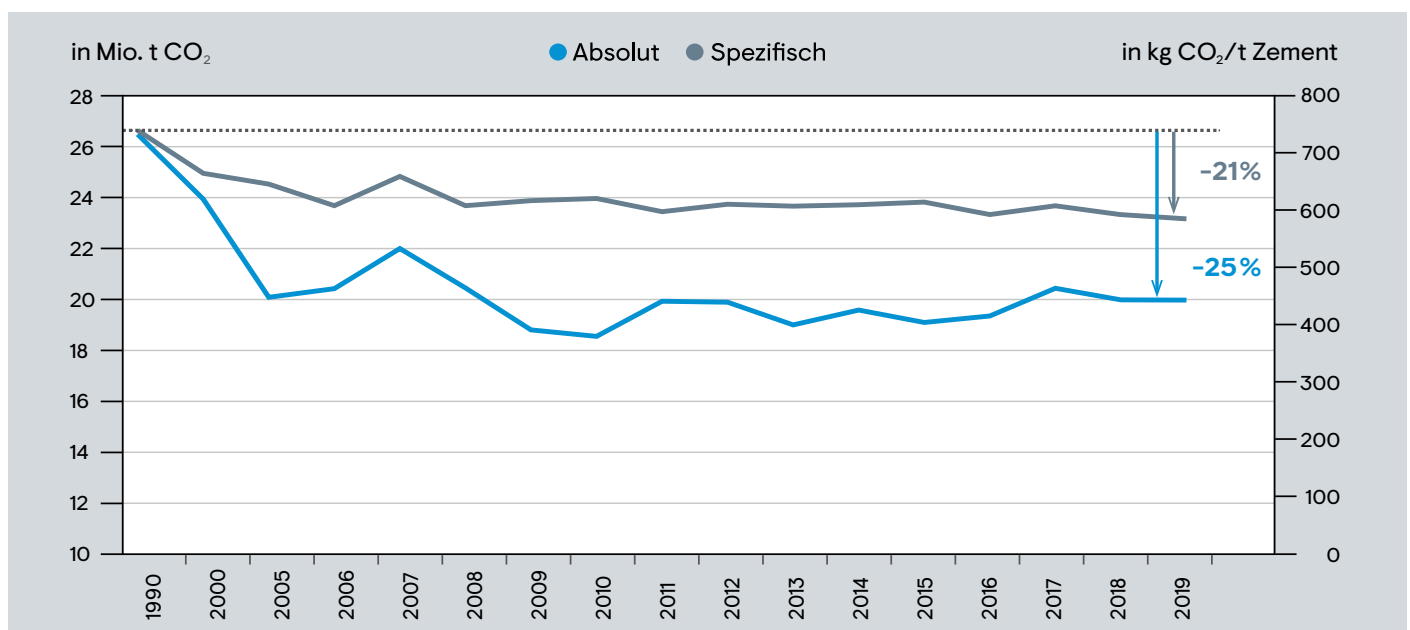


↑ Abbildung 1: Direkte CO₂-Emissionen aus der Zementherstellung

Seit 1990 ist es den deutschen Zementherstellern gelungen, die CO₂-Emissionen sowohl spezifisch, d.h. in kg/t Zement, als auch absolut in einer Größenordnung von 20 bis 25 % zu reduzieren. Damit wurden der absolute CO₂-Ausstoß in der Zementindustrie von ca. 26,5 Mio. t CO₂ auf 20 Mio. t und die spezifischen CO₂-Emissionen je t Zement von ca. 730 kg auf ca. 590 kg verringert (s. Abbildung 2).

Entscheidend für diese Minderungserfolge waren neben Verbesserungen der thermischen Effizienz vor allem zwei Faktoren: erstens die Senkung der Klinkergehalte im Zement und zweitens der verstärkte Einsatz biomassehaltiger alternativer Brennstoffe, durch die fossile Energieträger mehrheitlich ersetzt wurden.

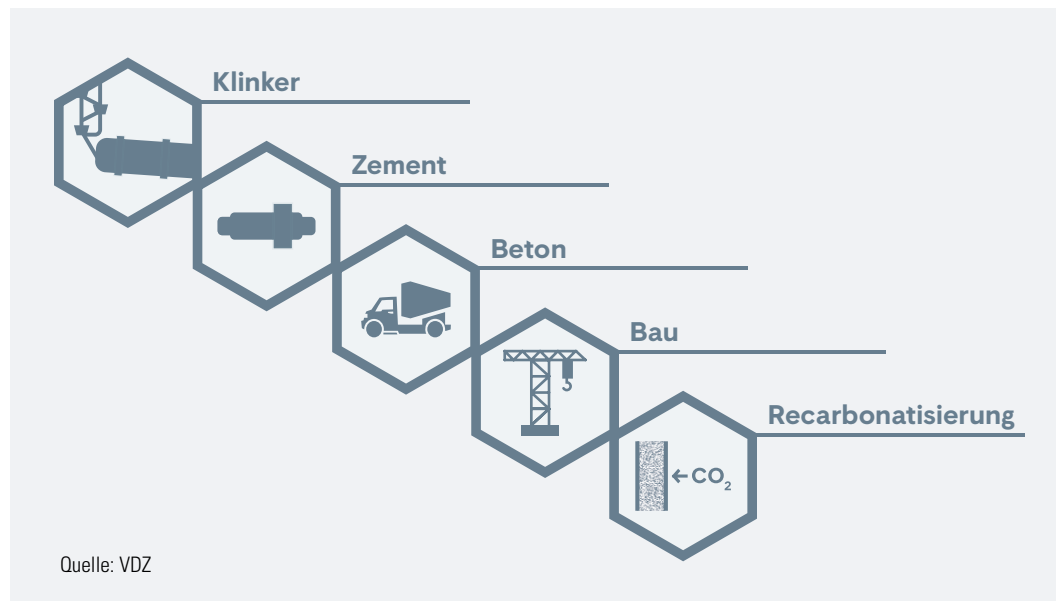
Bei der weiteren Minderung ihrer CO₂-Emissionen stößt die Zementindustrie jedoch zunehmend an Grenzen, denn insbesondere die prozessbedingten CO₂-Emissionen aus der Kalksteinentsäuerung bei der Klinkerherstellung sind allenfalls mit der Senkung der Klinkergehalte im Zement indirekt beeinflussbar, aber ansonsten mit heute verfügbarer Technik nicht zu mindern. Dies ist auch ein Grund für den zuletzt „stagnierenden“ Verlauf der Kurven in Abbildung 2. Eine entscheidende Rolle bei der Dekarbonisierung von Zement und Beton werden daher neben teils neuen, CO₂-effizienten Rohstoffen für die Klinker-, Zement- und Betonherstellung vor allen Dingen die Abscheidung von CO₂ im Zementwerk und dessen Nutzung bzw. Speicherung („Carbon Capture and Utilisation/Storage“ – CCUS) spielen.



↑ Abbildung 2: CO₂-Emissionen der deutschen Zementindustrie

Quellen: VDZ, GNR, Deutsche Emissionshandelsstelle

► Wie gelingt die Dekarbonisierung des Betonbaus in der Praxis?

Abbildung 3: CO₂-Minderung entlang der Wertschöpfungskette**TECHNOLOGIEN UND INNOVATIONEN FÜR EINE KLIMANEUTRALE BETONBAUWEISE**

Die Betrachtung der Technologieoptionen der VDZ-Studie basiert auf einem ganzheitlichen Ansatz. Das bedeutet, es sind die Maßnahmen entlang der Wertschöpfungskette von Zement und Beton eingeflossen, die aus heutiger technischer Sicht einen signifikanten Beitrag auf dem Weg zur Klimaneutralität bis 2050 leisten können (s. Abbildung 3).

Diese Betrachtung entspricht dem 5C-Ansatz des europäischen Zementverbandes CEMBUREAU: Clinker, Cement, Concrete, Construction und (Re)Carbonation.

Innovative Technologien zur CO₂-Reduzierung in der Zementindustrie

Da die rohstoffbedingten Prozessemissionen – außer über die Senkung des Klinkergehalts im Zement – mit heute verfügbarer Technik nicht gemindert werden können, forschen die deutschen und europäischen Zementhersteller sowie der VDZ unter dem Dach der European Cement Research Academy (ECRA) gemeinsam mit Anlagenbauern, Universitäten und wissenschaftlichen Institutionen bereits seit 2007 an geeigneten Verfahren zur CO₂-Abscheidung aus dem Abgas von Zementofen-

anlagen, um es danach entweder langfristig geologisch bzw. mineralogisch zu binden (Carbon Capture and Storage, CCS) oder das CO₂ einer anderen Verwendung zukommen zu lassen (Carbon Capture and Utilisation, CCU).

Als Ergebnis dieser umfangreichen Forschungsarbeiten werden derzeit verschiedene Verfahren im Pilot- und Demonstrationsmaßstab erprobt oder befinden sich in Planung.

Dabei spielt der Transport des CO₂ zu einer Verwertungseinrichtung oder zu einer Speicherstätte in allen CCUS-Projekten eine wichtige Rolle, da dies häufig in direkter Nähe des Zementwerks nicht möglich ist. Grundsätzlich kommen hierfür verschiedene Transportarten infrage, nämlich LKW, Bahn, Schiff oder Pipeline. Für den Transport sehr großer Mengen CO₂ ist eine Pipeline-Infrastruktur erforderlich, unabhängig davon, ob das CO₂ gespeichert oder an anderer Stelle weiterverwendet wird.

Es gibt bereits heute viele Möglichkeiten der CO₂-Nutzung; die technischen Prozesse sind weitestgehend verfügbar. Allerdings ist CO₂ ein sehr stabiles Molekül, das nur mit einem entsprechend hohen Energieaufwand in andere Stoffe umgewandelt werden kann.

► Wie gelingt die Dekarbonisierung des Betonbaus in der Praxis?

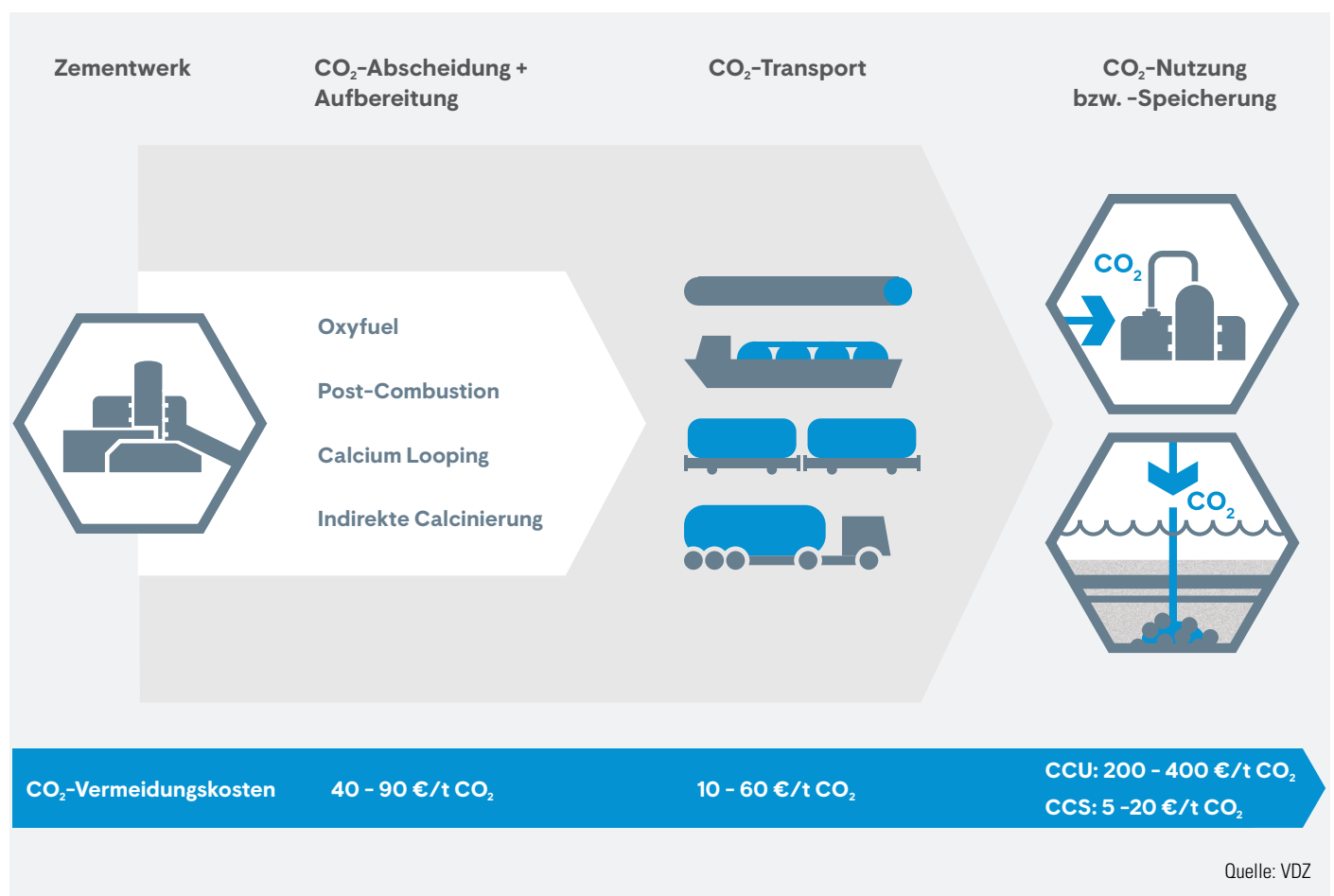
Die hierfür erforderliche Energie muss daher in ausreichendem Umfang und vor allen Dingen CO₂-frei verfügbar sein.

Die Speicherung von CO₂ wird in den nächsten Jahrzehnten mit Blick auf das Ziel der Klimaneutralität unabdingbar sein, solange die Potenziale zur Nutzung von großen CO₂-Mengen (CCU) sowie die Verfügbarkeit grünen Stroms begrenzt sind.

Gemeinsames Ziel muss es daher sein, alle Möglichkeiten der CO₂-Minderung auszuschöpfen, bevor es als letzte mögliche Maßnahme zu einer Abscheidung von CO₂ im Zementwerk kommt. Denn der Aufwand der

CO₂-Abscheidung bei der Zementklinkerherstellung, beim Transport sowie bei der Verwendung oder Einlagerung ist erheblich (s. Abbildung 4).

Da der flächendeckende Einsatz von CCU- und CCS-Technologien erst nach 2030 zu erwarten sein dürfte, kommt kurz- und mittelfristig der Herstellung klinkereffizienter Zemente für die CO₂-Minderung eine große Bedeutung zu. Die Zementindustrie arbeitet mit allen Beteiligten der Wertschöpfungskette daran, dass diese ihren Weg in den Markt und damit zur Anwendung im Beton finden.



↑ Abbildung 4: Verfahren zur CO₂-Abscheidung bei der Zementklinkerherstellung

► Wie gelingt die Dekarbonisierung des Betonbaus in der Praxis?

CO₂-Minderung durch innovative Betonbauweisen

Darüber hinaus gilt es in der Zukunft mehr als bisher, die Potenziale für CO₂-effiziente Bauteile und Konstruktionen aus Beton zu nutzen. 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. Für Spannbeton-Fertigdecken im Vergleich zu anderen Betondeckensystemen werden bei vergleichbaren statischen Anforderungen an die Decke Einsparungen beim Beton von bis zu 50 % und beim Stahl von bis zu 75 % genannt.

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.

In der VDZ-Studie wurde eine moderate Steigerung der Nutzung von Flach- und Hohldecken oder vergleichbarer weiterer Ansätze angenommen.

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.

Bei Vergleichen z. B. eines Doppel-T-Trägers aus Carbonbeton und Stahlbeton mit äquivalenter Tragfähigkeit oder auch einer Carbon- und einer Stahlbetonbrücke wurden Einsparungen 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 [3, 4].

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 VDZ-Studie wurden moderate Anteile an Carbonbeton an der gesamten zukünftigen Betonmenge angenommen.



AKTUELLES INTERVIEW ZUM THEMA

Lesen Sie hier das [aktuelle Interview zum Carbonbeton](#) von Professor Manfred Curbach und Dr. Jennifer Scheydt oder hören Sie den zugehörigen [Podcast](#).



← Für das weltweit erste Carbonbetongebäude „CUBE“ der TU Dresden entwickelte das Architekturbüro Henn das Konzeptdesign. Der Experimentalbau vereint Labor und Veranstaltungsräume.

► Wie gelingt die Dekarbonisierung des Betonbaus in der Praxis?



◀ Das erste Wohnhaus aus dem 3D-Betondrucker in Deutschland steht in Beckum/NRW, und wurde mit dem German Innovation Award 2021 ausgezeichnet.

Additive Fertigung

Entwicklungen im Bereich der additiven Fertigung werden vielfach unter dem Schlagwort „3D-Druck“ zusammengefasst. Derzeit sind die Effekte dieser neuen Verfahren in den Bereichen Ressourceneffizienz und Klimaschutz im Detail noch nicht abzuschätzen.

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.

Infraleichtbetone ermöglichen auf ähnliche Weise durch ihre poröse Gesteinskörnung und einen entsprechend hohen Luftanteil Außenwandkonstruktionen ohne zusätzliche Wärmedämmung.

Mit hochfesten und ultrahochfesten Betonen lassen sich zudem schlanke Bauteile bei hohen Beanspruchungen erzielen. 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 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.

► Wie gelingt die Dekarbonisierung des Betonbaus in der Praxis?

SZENARIEN ZUR DEKARBONISIERUNG VON ZEMENT UND BETON

Die VDZ-Studie beschreibt Pfade für die Dekarbonisierung von Zement und Beton bis zum Jahr 2050. Konkret werden zwei Szenarien zur Minderung direkter CO₂-Emissionen für die deutsche Zementindustrie und die gesamte Wertschöpfungskette Zement und Beton entwickelt: ein ambitioniertes Referenzszenario und ein Szenario Klimaneutralität.

sind Maßnahmen entlang der Wertschöpfungskette von Zement und Beton eingeflossen, die aus heutiger technischer Sicht einen signifikanten Beitrag auf dem Weg zur Klimaneutralität bis 2050 leisten können.

Die folgende Abbildung 5 zeigt die Annahmen zum Technologiemarkt für beide Szenarien bis 2050 entlang der fünf Wertschöpfungsstufen Klinker, Zement, Beton, Bauwerk und Recarbonisierung (Wiedereinbindung des CO₂ in den Beton).

Ambitioniertes Referenzszenario

- Thermische Effizienz: + 13 %
- Alternative Brennstoffe: 85 % (davon 35 % Biomasse)
- 15 % Regelbrennstoffe
- Ohne CCUS



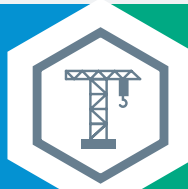
- Fokus auf CEM II/C
- Klinker-Zement-Faktor 63 %
- Ohne neue Bindemittel



- Differenzierter Zementeinsatz im Beton je nach Anforderungsprofil



- Weiterentwicklung der Betonbauweise
- Ausbau der Industrialisierung



- Recarbonatisierung von 20 % der Prozessemissionen

**Szenario Klimaneutralität**

- Thermische Effizienz: + 13 %
- Alternative Brennstoffe: 90 % (davon 35 % Biomasse)
- 10 % Wasserstoff
- Einsatz von CCUS

- Fokus auf CEM II/C und CEM VI
- Klinker-Zement-Faktor 53 %
- 5 % Marktanteil neue Bindemittel

- Differenzierter Zementeinsatz im Beton je nach Anforderungsprofil

- Weitere Materialeinsparungen, z.B. neue Betonbauweisen (u.a. Carbonbeton, additive Fertigung)
- Weitere Industrialisierung

- Recarbonatisierung von 20 % der Prozessemissionen

Quelle: VDZ

↑ Abbildung 5: Annahmen zum Technologiemarkt in den Szenarien bis 2050

► Wie gelingt die Dekarbonisierung des Betonbaus in der Praxis?

Daraus ergeben sich für die beiden Szenarien die nachfolgend beschriebenen CO₂-Minderungen.

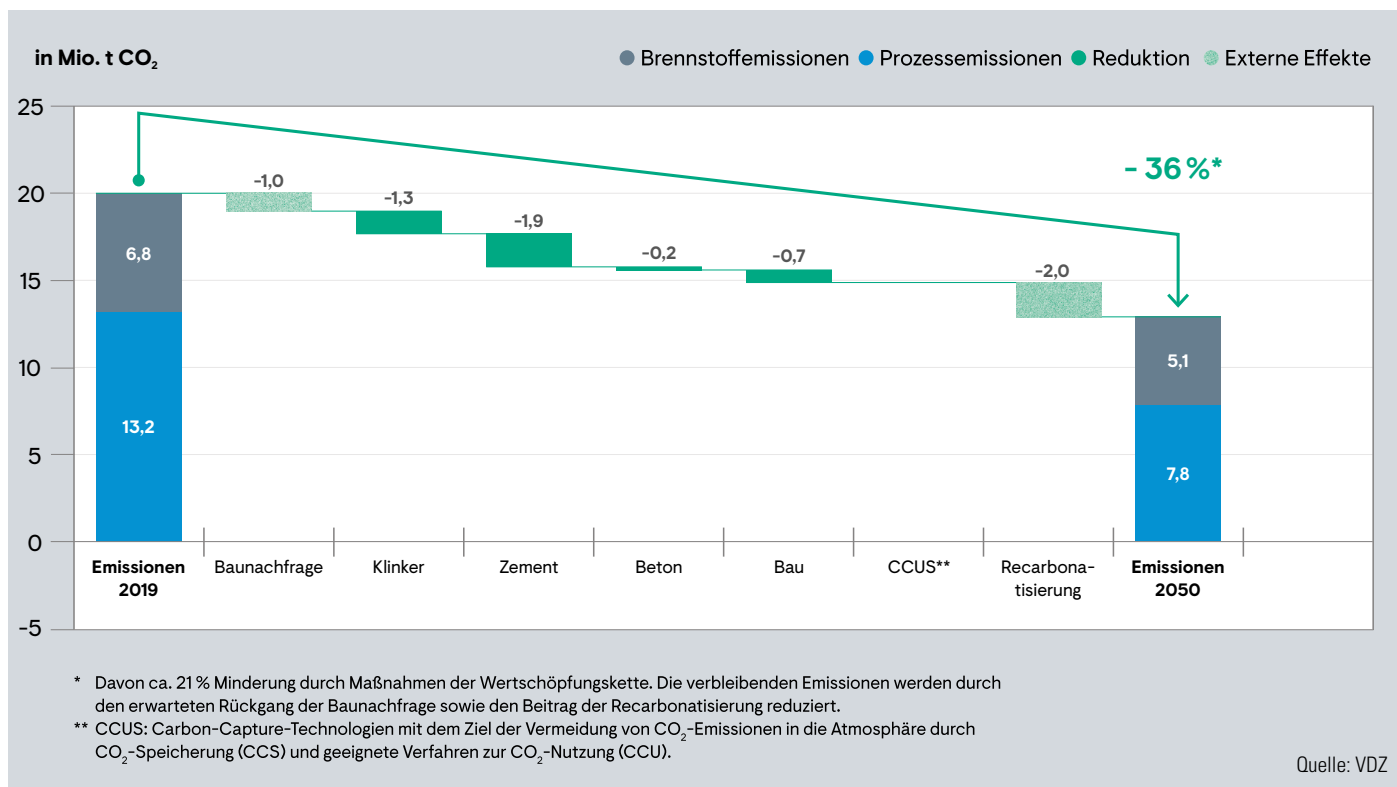
Das **ambitionierte Referenzszenario** basiert im Kern auf dem Einsatz heute verfügbarer CO₂-Minderungstechnologien (siehe Abbildung 6) und legt hierbei sehr anspruchsvolle Annahmen zugrunde. Es ist insofern keineswegs als „business-as-usual“-Pfad zu verstehen.

Neben weiteren deutlichen Steigerungen der thermischen Effizienz und des Einsatzes biomassehaltiger alternativer Brennstoffe wird hier beispielsweise ein breiter Einsatz von CO₂-effizienten CEM II/C-Zementen angenommen, deren Normung mittlerweile abgeschlossen ist. Mit einem Klinkeranteil zwischen 50 und 65 % kann diese neue Zementart bereits 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. Im ambitionierten Referenzszenario sind keine CCUS-Technologien berücksichtigt.

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 %, der Einsatz von Wasserstoff als Energieträger sowie – ganz wesentlich – CCUS. Außerdem werden weitere Effizienzsteigerungen und Innovationen in der Herstellung und Anwendung von Beton angenommen.

Für das ambitionierte Referenzszenario ergibt sich bis 2030 eine Minderung der CO₂-Emissionen um 19 % gegenüber dem Status quo im Jahr 2019 (ca. 40 % gegenüber 1990). Bis 2050 wird ohne den Einsatz von Breakthrough-Technologien wie CCUS eine Minderung um 36 % gegenüber 2019 erreicht (siehe Abbildung 6).

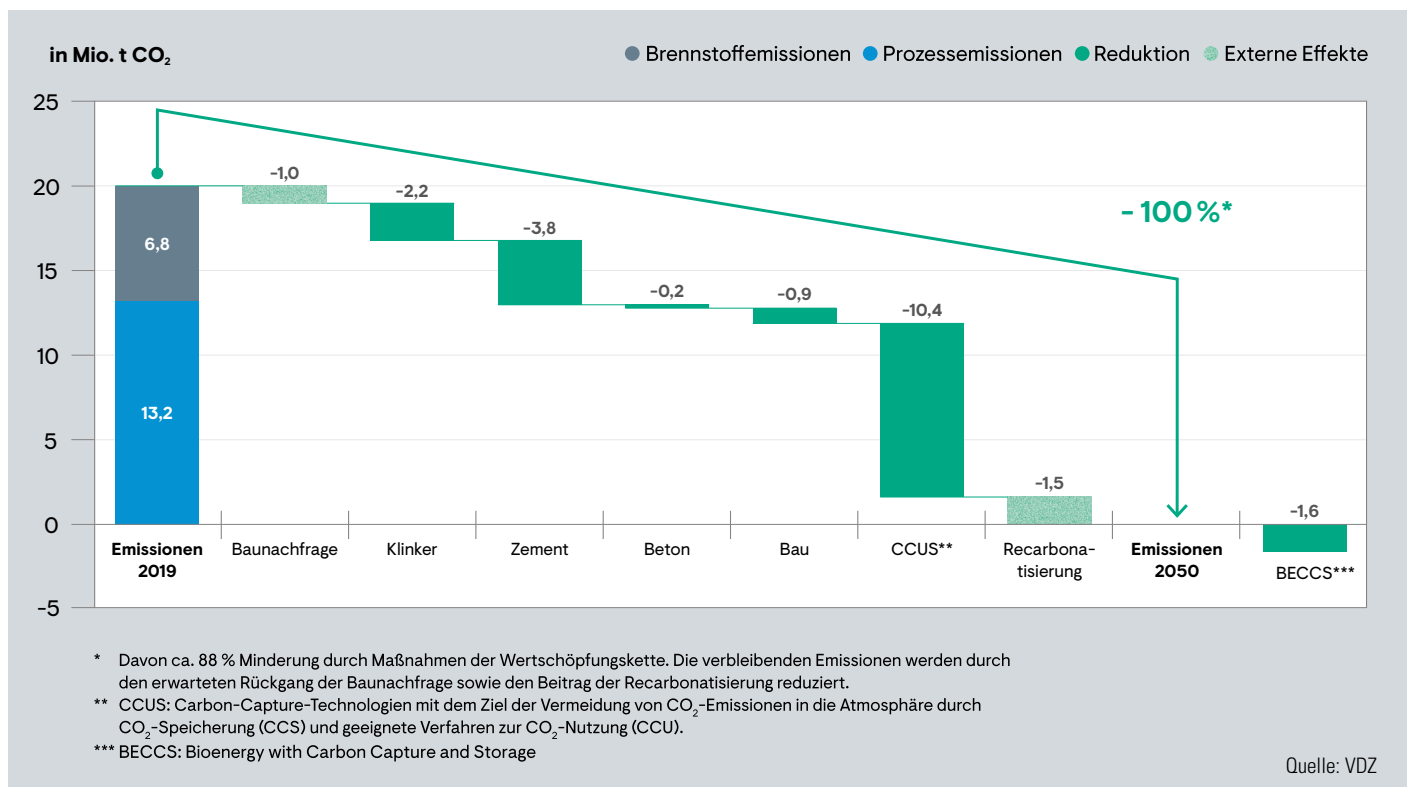


↑ Abbildung 6: Ambitioniertes Referenzszenario – CO₂-Minderung bis 2050

► Wie gelingt die Dekarbonisierung des Betonbaus in der Praxis?

Im klimaneutralen Szenario ergibt sich bereits bis 2030 eine CO₂-Minderung von rund 27 % gegenüber 2019 (ca. 45 % gegenüber 1990). Hierbei spielen erste Demonstrationsanlagen zur Abscheidung von CO₂ im industriellen Maßstab eine große Rolle. Auf diese Weise könnten aus heutiger Sicht rund 1 Mio. Tonnen CO₂ im Jahr 2030 ein-

gespart werden. Bis 2050 erreicht die Zementindustrie im Szenario Klimaneutralität unter Ausschöpfung aller verfügbaren CO₂-Minderungsoptionen und inkl. externer Effekte wie z.B. Recarbonatisierung eine vollständige Minderung der CO₂-Emissionen (siehe Abbildung 7).



↑ Abbildung 7: Szenario Klimaneutralität – CO₂-Minderung bis 2050

Wie Abbildung 7 verdeutlicht, wird die Summe aller „konventionellen“ Maßnahmen lediglich ausreichen, um rund die Hälfte der aktuellen CO₂-Emissionen zu vermeiden: die verbleibenden CO₂-Mengen in Höhe von rund 10,4 Mio. Tonnen pro Jahr müssen durch den flächendeckenden Einsatz von CCUS-Technologien reduziert werden, deren Einsatz sehr energieintensiv und teuer ist.

Zusätzlich können durch die nachhaltige Nutzung von biomassehaltigen Abfällen als Brennstoff bei gleichzeitiger CO₂-Abscheidung (BECCS) jährlich etwa 1,6 Mio. Tonnen CO₂ aus der Atmosphäre entnommen werden.

Rechnerisch würden die Gesamtemissionen dann um mehr als 100 % verringert.

Als externe Effekte, die nicht direkt beeinflussbar sind, werden in beiden Szenarien die natürlich stattfindende Carbonatisierung, d.h. die CO₂-Aufnahme durch den Beton, sowie ein leichter Rückgang der Betonnachfrage als Minderungsbeiträge berücksichtigt. Die Möglichkeit der aktiven Carbonatisierung von Frisch- oder Festbeton (Mineralisierung) wird in dieser Studie den CO₂-Nutzungstechnologien (CCU) zugeordnet.

► Wie gelingt die Dekarbonisierung des Betonbaus in der Praxis?

Die folgende Tabelle 1 fasst die CO₂-Minderung in den beiden betrachteten Szenarien noch einmal zusammen.

Bezugs- zeitraum	CO ₂ -Minderung in den beiden betrachteten Szenarien [%]			
	Ambitioniertes Referenzszenario		Szenario Klimaneutralität	
	2030	2050	2030	2050
1990	40	50	45	100
2019	19	36	27	100

↑ Tabelle 1: CO₂-Minderung in den beiden betrachteten Szenarien [%]

VERWENDUNG KLINKEREFFIZIENTER ZEMENTE – EIN WICHTIGER BAUSTEIN AUF DEM WEG ZUR KLIMANEUTRALITÄT

Die Verwendung klinkereffizienter Zemente macht im oben genannten Szenario „Klimaneutralität“ etwa 20 % der angenommenen Minderungen aus und ist somit ein wichtiger Hebel. Der Markteinführung dieser Zemente kommt daher eine große Bedeutung zu und gemeinsames Ziel muss es sein, Betonherstellung und Bauausführung hierauf auszurichten.

Dabei ist die Verwendung klinkereffizienter Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen nicht neu. Sie hat in vielen europäischen Ländern – auch in Deutschland – eine lange

und erfolgreiche Tradition. Klinkereffiziente Zemente kommen bereits seit vielen Jahren zum Einsatz, auch weil dadurch die CO₂-Emissionen aus der Zementherstellung reduziert werden können.

Der Klinker/Zement-Faktor konnte so in den letzten Jahrzehnten auf durchschnittlich 71 % gesenkt werden. Damit haben die deutschen Zementhersteller in signifikanter

i

MINERALISIERUNG

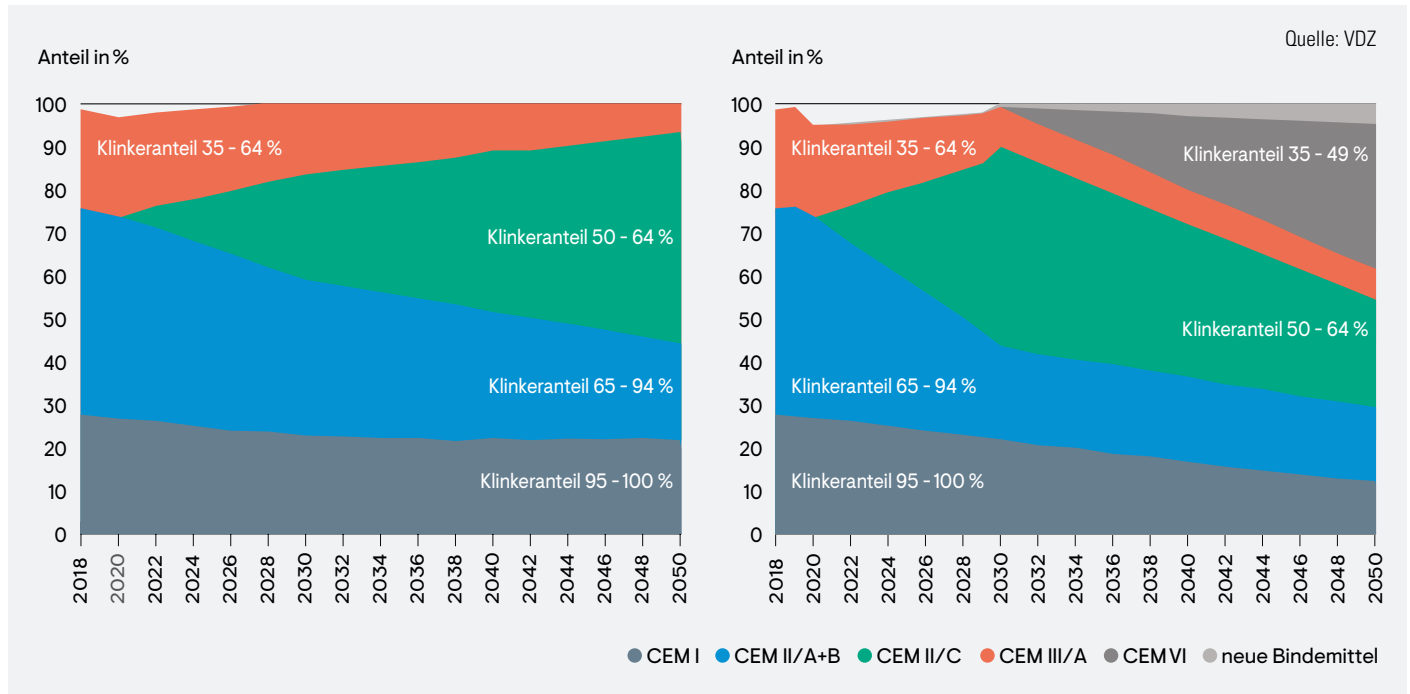
Eine langfristige Einbindung von CO₂ ist auch durch eine Mineralisierung möglich. So findet an den Oberflächen von Baustoffen aus Zement oder Kalk eine Recarbonatisierung durch Aufnahme von CO₂ aus der Luft statt.

Diese natürliche Reaktion kann durch den Einsatz hoher CO₂-Konzentrationen und guter Reaktionsbedingungen gezielt beschleunigt (= „aktive“ Carbonatisierung) und optimiert werden. Alternativ bedarf es großer Oberflächen wie beispielsweise bei aufbereitetem Altbeton. Auch in geologischen Speichern (CCS) kann CO₂ je nach Gesteinsformation zu calcium- oder magnesiumhaltigen Verbindungen reagieren und dadurch gebunden (mineralisiert) werden.



↑ Geplante CCS-Anlage (Carbon Capture and Storage) im Zementwerk Brevik, Norwegen

► Wie gelingt die Dekarbonisierung des Betonbaus in der Praxis?



↑ Abbildung 8: Zementportfolio im ambitionierten Referenzszenario (links) und im klimaneutralen Szenario (rechts) gemäß VDZ-Studie „Dekarbonisierung von Zement und Beton – Minderungspfade und Handlungsstrategien“

Weise CO₂-Emissionen eingespart. Im Klimaneutralitätsszenario wird ein Wert von 53 % in 2050 angestrebt. Die jeweilige Entwicklung des Zementportfolios in beiden Szenarien zeigt Abbildung 8. Die Herleitung und entsprechende Details sind in der [VDZ-Studie](#) aufgeführt.

Die Weichen für die Markteinführung neuer klinkereffizienter Zemente werden aktuell gestellt. Die neuen Portlandkompositzemente CEM II/C-M ([siehe Artikel 2](#)), für die seit wenigen Monaten erste allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen (Anwendungszulassung AZ) vorliegen, können derzeit (Stand August 2021) gemäß drei Zulassungen für alle Expositionsklassen außer XF2, XF3 und XF4 verwendet werden. Diese Regelung wird für CEM II/C-M (S-LL)-Zemente in etwa zwei Jahren auch in der nächsten Ausgabe der Betonnorm DIN 1045-2 enthalten sein.

Betone für den üblichen Hochbau (Innenbauteile XC1 und Außenbauteile XC4/XF1) können je nach Verfügbarkeit mit allen zuvor genannten Zementen hergestellt werden. Dies ist insofern von Bedeutung, als etwa 65 % des Ortbetons in Deutschland in diesen Expositionsklassen verwendet werden.

Eine vierte Zulassung ermöglicht derzeit für einen CEM II/C-M (S-LL) die Anwendung in allen Expositionsklassen. Weitere Zulassungen sind in Vorbereitung.

Im Klimaneutralitätsszenario wurde für Ortbeton, der überwiegend als Transportbeton sowie in kleineren Mengen als Baustellenbeton hergestellt wird, angenommen, dass mindestens in den Innen- und normalen Außenbauteilen des Hochbaus ab 2030 nur noch Zemente mit einem Klinkergehalt von 50 % (z. B. CEM II/C) verwendet werden. In 2050 sollten alle Betone für Innen- und normale Außenbauteile des Hochbaus Zemente mit einem mittleren Klinkergehalt von 35 % (z. B. CEM VI) enthalten.

Konstruktive Fertigteile werden wegen des Anspruchs an die Festigkeitsentwicklung (kürzere Ausschulfristen) auch zukünftig im Durchschnitt höhere Klinkergehalte im Zement erforderlich machen: im Klimaneutralitätsszenario wurde angenommen, dass 2030 etwa 20 % der Zemente nur noch einen Klinkergehalt von 50 % (z. B. CEM II/C) haben; 2050 sind dies 30 %.

► Wie gelingt die Dekarbonisierung des Betonbaus in der Praxis?

WAS PLANER, BETONHERSTELLER UND BAUAUSFÜHRUNG HEUTE SCHON TUN KÖNNEN

Es besteht bereits heute die Möglichkeit, zu prüfen, ob 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 zugleich aber auch von der Verfügbarkeit der Ausgangsstoffe ab. Bei Vorgaben bezüglich zu verwendender Betonausgangsstoffe bzw. Betone sind somit immer auch die örtlich vorhandenen und verfügbaren Ressourcen zu beachten. Im Zweifelsfall empfiehlt es sich, nachzufragen.

Um zu verdeutlichen, welche CO₂-Minderungspotentiale bestehen, sind in Tabelle 2 Orientierungswerte für Treibhausgasemissionen von Betonen in Abhängigkeit von der gewählten Betondruckfestigkeitsklasse dargestellt.

Tabelle 2 zeigt in Zeile 3 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)

Tabelle 2 enthält zur Orientierung außerdem Werte für Betone, die bezüglich der zu ihrer Herstellung notwendigen Treibhausgasemissionen 20 bzw. 30 % unterhalb des Durchschnitts oder bis zu 20 % über dem heutigen Durchschnitt liegen. Tabelle 2 vermittelt auf den ersten Blick den Eindruck, Betone höherer Festigkeit seien bezüglich ihres CO₂-Fußabdrucks generell ungünstiger als Betone geringer Festigkeit. Tatsächlich sollte aber der CO₂-Fußabdruck eines Baustoffes nicht isoliert ohne den Bezug zu seiner technischen Leistungsfähigkeit betrachtet werden.

Bezeichnung	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 35/45	C 45/55	C 50/60
	Treibhausgasemissionen (kg CO₂-Äquivalent/m³ Beton)					
Beton heutiger Durchschnitt¹⁾	178	197	219	244	286	300
Beton z. B. mit CEM I	213	237	261	286	312	325
Beton z. B. mit CEM III/A, CEM II/C o. ä.	142	158	175	195	229	240
Beton z. B. mit CEM VI o. ä.	125	138	153	171	200	210

¹⁾ Werte GWP ohne Verbrennung von Abfällen bei der Klinkerherstellung, nicht gerundet

↑ Tabelle 2: Orientierungswerte für Treibhausgasemissionen von Beton

Bezeichnung	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 35/45	C 45/55	C 50/60
	leistungsbezogene Treibhausgasemissionen¹⁾ (kg CO₂-Äquivalent/(m³ x MPa))					
Beton heutiger Durchschnitt	6,1	5,8	5,3	5,0	4,8	4,7
Beton z. B. mit CEM I	7,3	7,0	6,4	5,8	5,3	5,1
Beton z. B. mit CEM III/A, CEM II/C o. ä.	4,9	4,6	4,3	4,0	3,9	3,8
Beton z. B. mit CEM VI o. ä.	4,3	4,1	3,7	3,5	3,4	3,3

¹⁾ Berechnung der Werte auf Basis mittlerer Festigkeiten $f_{cm, cube}$; Beispiel C20/25 Zeile 3: $178/(f_{ck}+4) = 178/29 = 6,1$

↑ Tabelle 3: Orientierungswerte für leistungsbezogene Treibhausgasemissionen von Beton

► Wie gelingt die Dekarbonisierung des Betonbaus in der Praxis?

Neben einer Einteilung anhand der Einheit $\text{kg CO}_2\text{-Äquivalent/m}^3$ Beton zeigt Tabelle 3 daher eine Darstellung unter Berücksichtigung der Leistungsfähigkeit des Betons ($\text{CO}_2\text{-Äquivalent}/(\text{m}^3 \text{ Beton} \times \text{MPa})$). Diese Darstellung zeigt Folgendes:

- In den höheren Festigkeitsklassen sind die leistungsbezogenen Treibhausgasemissionen geringer als in den niedrigen Festigkeitsklassen.
- Diese leistungsbezogene Betrachtung ergibt Sinn bei Ausnutzung der höheren Festigkeit durch eine Verringerung der Bauteilabmessung, d. h. wenn schlank gebaut und dadurch CO_2 in der Herstellung des Bauteils eingespart wird.
- Sind höhere Festigkeiten aus statischen Gründen oder durch die Expositionsklasse begründet, ohne dass eine Materialeinsparung möglich ist, kann anhand dieser Werte die CO_2 -Effizienz des Betons beschrieben werden.

Der ressourceneffiziente Entwurf wird zukünftig weiter an Bedeutung gewinnen: „So viel wie nötig, so wenig wie möglich“.

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.

Tabelle 2 und Tabelle 3 zeigen aber vor allem auch, dass eine „vollständige“ Dekarbonisierung des Baustoffes Beton mit „klassischer Betontechnologie“ nicht erreicht werden kann.

HANDLUNGSFELDER UND VORAUSSETZUNGEN FÜR EINE ERFOLGREICHE TRANSFORMATION

Überblick

Die Transformation hin zu einer klimaneutralen Gesellschaft ist nicht nur eine technische Herausforderung. Es wird vielmehr auch darauf ankommen, rechtzeitig die hierfür erforderlichen externen Voraussetzungen und Rahmenbedingungen zu schaffen. Hier ist ein Miteinander der Akteure aus Wirtschaft, Politik, Wissenschaft und Zivilgesellschaft vor allem in den nachfolgend erläuterten Handlungsfeldern (vgl. auch Abbildung 9) erforderlich.

Wie die Ergebnisse der VDZ-Studie zeigen, wird die CO_2 -Abscheidung im Zementwerk und dessen anschließende Nutzung bzw. Speicherung (CCUS) bei der Dekarbonisierung von Zement und Beton eine entscheidende Rolle spielen. Für eine klimaneutrale Zementindustrie wird es dabei erforderlich sein, nach Ausschöpfung aller übrigen Potenziale ab 2050 jährlich rund 10 Mio. Tonnen CO_2 abzuscheiden, das entspricht rund 50 % der CO_2 -Emissionen.

Nach umfangreichen Vorarbeiten und Forschungsvorhaben ist die Zementindustrie heute in der Lage, die CO_2 -Abscheidung in die industrielle Anwendung zu führen. Auch wenn mit der CO_2 -Abscheidung eine signifikante Vermeidung prozessbedingter CO_2 -Emissionen möglich ist, stellen die hohen Kosten für Bau und Betrieb dieser Anlagen und die Errichtung entsprechender Infrastrukturen eine wesentliche Herausforderung dar.



↑ Abbildung 9: Voraussetzungen und Handlungsfelder für Klimaneutralität

► Wie gelingt die Dekarbonisierung des Betonbaus in der Praxis?

Dies gilt auch, da die Wertschöpfungskette von Zement und Beton vor Ort an heimische Rohstoffvorkommen gebunden ist und sich häufig in größerer Entfernung von anderen industriellen Clustern und Infrastrukturen befindet.

Die zentralen Handlungsfelder für Klimaneutralität

Verfügbarkeit erneuerbarer Energien und leistungsfähiger Stromnetze

Die Dekarbonisierung von Zement und Beton basiert auf einem umfassenden Maßnahmenmix, der in erheblichem Umfang auf grünen Strom angewiesen ist. So wird sich der Strombedarf der Klinkerherstellung u. a. durch den breiten Einsatz von Technologien zur CO₂-Abscheidung etwa verdoppeln. Insofern stellt die Verfügbarkeit erneuerbarer Energien und leistungsfähiger Stromnetze sektorübergreifend eine wichtige Voraussetzung für Klimaneutralität dar.

Zugang zu ausreichenden Mengen alternativer, biomassehaltiger Brennstoffe

Besonders bedeutsam für die Zementindustrie ist darüber hinaus der langfristige Zugang zu ausreichenden Mengen alternativer, biomassehaltiger Brennstoffe, die bei der Minimierung der brennstoffbedingten CO₂-Emissionen in der Zementindustrie bereits heute eine wichtige Rolle spielen.

Aufbau einer funktionierenden CO₂-Infrastruktur

Letztlich kommt dem Aufbau einer funktionierenden CO₂-Infrastruktur eine entscheidende Bedeutung zu – das gilt sowohl für die Dekarbonisierung von Zement und Beton als auch für die Entstehung von neuen CCUS-Wertschöpfungsketten. Nur unter dieser Voraussetzung kann es gelingen, abgeschiedenes CO₂ einer geeigneten Nutzung oder Speicherung zuzuführen.

Voraussetzungen für eine wettbewerbsfähige Zementherstellung und Innovationsförderung

Es bedarf zudem eines wirksamen politischen Instrumentenmixes, der eine wettbewerbsfähige Produktion CO₂-armer Zemente und Betone in Deutschland ermöglicht und gleichzeitig Märkte für diese Produkte fördert, obwohl sie in der Herstellung in der Regel deutlich teurer sein werden als konventionell produzierte Alternativen.

Gesellschaftlicher Konsens über für die Dekarbonisierung erforderliche Technologien

Letztlich muss auch die Gesellschaft insgesamt bereit sein, die technischen und wirtschaftlichen Veränderungen mitzutragen, damit die Dekarbonisierung der Industrie gelingen und das Ziel einer klimaneutralen Gesellschaft erreicht werden kann. Dazu gilt es, einen neuen Grundkonsens zwischen Politik, Zivilgesellschaft und Industrie über den Technologiemark der Zukunft zu entwickeln.

CO₂ beim Bauen eine größere Bedeutung beimesen

Auch wenn für die Dekarbonisierung der Zementherstellung die CO₂-Abscheidung unerlässlich ist, kann dieses Verfahren wegen seiner hohen Kosten und des immensen Aufwandes nur zum Einsatz kommen, wenn alle anderen Minderungsoptionen vollständig ausgeschöpft sind. CCUS muss auf einen möglichst geringen Anteil begrenzt werden. Deshalb wird es in den kommenden Jahren ganz besonders darauf ankommen, den effizienten Einsatz von Klinker, Zement und Beton in der Wertschöpfungskette weiter voranzutreiben.

Der Verwendung von klinkereffizienten Zementen kommt dabei eine Schlüsselrolle zu und gemeinsames Ziel muss es sein, Betonherstellung und Bauausführung auf dieses Ziel auszurichten. Insgesamt gilt es, dem Thema CO₂ beim Bauen eine größere Bedeutung beizumessen. Hierzu müssen die notwendigen normativen und rechtlichen Voraussetzungen geschaffen werden, 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.

Die nachfolgende Infobox gibt einen Überblick der Anforderungen an einen geeigneten Rahmen für die Dekarbonisierung des Betonbaus.

► Wie gelingt die Dekarbonisierung des Betonbaus in der Praxis?



ANFORDERUNGEN AN EINEN GEEIGNETEN RAHMEN FÜR DIE DEKARBONISIERUNG [1]

- **Die gesamte Wertschöpfungskette Bau beim Klimaschutz in den Blick nehmen**, von Klinker über Zement und Beton bis hin zur Baustelle, zum Bauwerk, zur Wiederverwendung von Bauteilen und Verwertung der Bauabfälle (u. a. Baurecht aktualisieren, Normen und Regelwerke im Sinne des Klimaschutzes rasch weiterentwickeln, Normung CO₂-effizienter Produkte beschleunigen).
- **Anreize für Investitionen in klimafreundlichere Zemente und Betone schaffen** und diese wettbewerbsfähig gegenüber konventionellen Produkten machen.
- **Dem Klimafußabdruck** der Baumaterialien in den Nachhaltigkeitszertifizierungen für Hoch- und Tiefbau **einen höheren Stellenwert geben**.
- **Ausreichende Anreize für Kunden setzen**, sehr CO₂-effiziente und perspektivisch CO₂-freie Zemente und Betone zu nutzen, trotz höherer Kosten im Vergleich zu Produkten mit einem größeren CO₂-Fußabdruck.
- **Klimaschutzkriterien für die Vergabe öffentlicher Bauaufträge im Dialog mit der Industrie entwickeln und zur Anwendung bringen** (u. a. Green Public Procurement konsequent bundesweit umsetzen).
- **Ganzheitlichen Lebenszyklus-Ansatz** für die Bewertung der CO₂-Performance von Baustoffen bzw. Bauweisen **in den Vordergrund stellen** (Betrachtung der Wertschöpfungskette, Lebensdauer von Bauwerken/Bauteilen, Energie- und CO₂-Effizienz über Herstellung und Nutzungsphase inkl. Wiederverwendung oder Verwertung der Baustoffe beim Abbruch des Bauwerks).
- **Wirtschaftliche Anreize technologieoffen ausgestalten**; bautechnischen Eigenschaften (Stabilität, Brandschutz und Umweltverträglichkeit eines Bauwerks) auch künftig Vorrang bei der Wahl des geeigneten Baustoffes geben.
- **Training und Potenziale der Digitalisierung nutzen**; Bauausführende, Architekten und Bauherren entsprechend schulen und informieren, Bauprojekte klimagerecht mit digitalen Methoden wie Building Information Modeling (BIM) planen.
- **Unerwünschte Carbon-Leakage-Effekte** bei der Klinkerproduktion **verhindern**; Level Playing Field insbesondere für Investitionen in CO₂-effiziente Technologien schaffen. Instrumente wie z. B. einen CO₂-Grenzausgleich als Ergänzung zur kostenfreien Benchmark-Zuteilung im EU-Emissionshandel ergebnisoffen prüfen.
- **Breakthrough-Innovationen fördern**, z. B. CAPEX/OPEX für CO₂-Abscheidung, Nutzung, Transport, Speicherung sowie neue Bindemittelkonzepte (u. a. durch Carbon Contracts for Difference (CCfDs) und Verknüpfung von Förderinstrumenten auf nationaler/europäischer Ebene). Europäisches Beihilferecht auf Anforderungen der Klimaneutralität ausrichten.
- **Konzepte für (regionale) CO₂-Infrastrukturnetze entwickeln** sowie verlässlichen Rahmen für Infrastrukturinvestitionen und -betrieb setzen.
- **Die erneuerbare Stromversorgung ausbauen**, um dem steigenden Bedarf an elektrischer Energie bei der Klinkerherstellung und der Umwandlung von CO₂ gerecht zu werden; neben der technischen Verfügbarkeit gleichermaßen Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit gewährleisten.

► Wie gelingt die Dekarbonisierung des Betonbaus in der Praxis?

EINE KLIMANEUTRALE BETONBAUWEISE IST MÖGLICH

Die Dekarbonisierung von Zement und Beton führt zu einem Transformationsprozess von bislang nicht vorstellbarem Ausmaß. Diesem stellt sich die Zementindustrie in Deutschland und hat den Anspruch, klimaneutral zu werden. Hierzu muss ein Mix von Politikinstrumenten entlang der gesamten Wertschöpfungskette von Zement und Beton die richtigen Anreize und Rahmenbedingungen setzen, um wirtschaftliches Handeln an Klimaschutzgesichtspunkten ausrichten zu können.

Die VDZ-Studie „Dekarbonisierung von Zement und Beton – Minderungspfade und Handlungsstrategien“ hat aufgezeigt, dass auf dem Weg zur klimaneutralen Betonbauweise die gesamte Wertschöpfungskette von Zement und Beton gemeinsam agieren muss.

Bereits heute lassen sich 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.

Diese Maßnahmen dürfen aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass der weitaus größte Beitrag zur Dekarbonisierung von Zement und Beton nur durch die CO₂-Abscheidung im Zementwerk erfolgen kann.

Die Dekarbonisierung ist dabei 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.

Darüber hinaus wird es aus Sicht der Zementindustrie maßgeblich darauf ankommen, dass die politischen und gesellschaftlichen Voraussetzungen für die industrielle Transformation und das Erreichen der Klimaneutralität geschaffen werden.



↑ Leichtbetonbauweise bei der Zentralbibliothek Humboldt Universität, Berlin.
Architekt Max Dudler

QUELLEN:

- [1] Verein Deutscher Zementwerke, VDZ, Hrsg. *Dekarbonisierung von Zement und Beton – Minderungspfade und Handlungsstrategien*. Düsseldorf, 2020
- [2] Müller, Christoph; Mohr, Manuel. Wie gelingt die Dekarbonisierung des Betonbaus in der Praxis? Konstruktiv: Nachrichten für die im Bauwesen tätigen Ingenieure. 2021, (02), S. 34 - 40
- [3] 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
- [4] Seifert, W.; Lieboldt, M.; Curbach, M. Ressourcenverfügbarkeit und Konsequenzen bei der Planung von Betonbauwerken. Beton. 2019, 69(9), S. 321 - 322



Die neue Zementnorm DIN EN 197-5 für CEM II/C- und CEM VI-Zemente ist erschienen



Dagmar Küchlin

Teamleiterin Anwendungstechnik Zement,
HeidelbergCement AG,
Engineering & Innovation, Leimen

Wie in der VDZ-Studie „Dekarbonisierung von Zement und Beton – Minderungspfade und Handlungsstrategien“ [1] aufgezeigt, ist der breite Einsatz von klinkereffizienten CEM II/C-M und CEM VI-Zementen ein wesentlicher Baustein, um das Ziel der CO₂-Neutralität der Betonbauweise zu erreichen.

Gemäß DIN EN 197-5 sind Portlandkompositzemente CEM II/C-M und Kompositzemente CEM VI Zemente mit zwei weiteren Hauptbestandteilen außer Klinker. Für CEM II/C-M kann der Klinkergehalt auf bis zu 50 M.-% reduziert werden, für Kompositzemente CEM VI auf bis zu 35 M.-%.

Bereits seit 2006 wurden Zemente dieser Zusammensetzungen untersucht. Sie sollten als neue Zementarten CEM II/C-M (Portlandkompositzement) und CEM VI (Kompositzement) im Rahmen der Revision der EN 197-1 in die Zementnorm aufgenommen werden. Als harmonisierte europäische Norm ist EN 197-1 jedoch von den aktuellen

Veränderungen im EU-Normungsprozess sowie der angekündigten Überarbeitung der EU-Bauproduktenverordnung (BauPVO) betroffen. Das bedeutet, dass die bereits seit 2015 inhaltlich fertig gestellte Norm nicht veröffentlicht wurde.

Da die Veröffentlichung zeitlich nicht absehbar war, wurden die normativen Festlegungen für die neuen Zementarten CEM II/C-M und CEM VI in eine neue nicht harmonisierte europäische Zementnorm EN 197-5 übergeführt, die nun mit Ausgabedatum Juli 2021 erschienen ist. Da die Norm nicht harmonisiert ist, erhalten die Zemente nach DIN EN 197-5 ein Ü-Zeichen.

DIN EN 197-5 regelt die Anforderungen an Portlandkompositzemente CEM II/C-M und Kompositzemente CEM VI, die nicht in EN 197-1 behandelt werden und die für die Herstellung von Beton, Mörtel, Einpressmörtel usw. verwendet werden sollen [2].

► Die neue Zementnorm DIN EN 197-5 für CEM II/C- und CEM VI-Zemente ist erschienen

Hauptarten	Bezeichnung der Produkte (Zementarten)		Zusammensetzung (Massenanteile in Prozent ^a										
			Hauptbestandteile										Nebenbestandteile
			Klinker	Hütten-sand	Silica-staub	Puzzolan		Flugasche		Gebrannter Schiefer	Kalkstein		
	natürlich	natürlich getempert				kiesel-säure-reich	kalk-reich						
	Zement-name	Kurzzeichen	K	S	D ^b	P	Q	V	W	T	L ^c	LL ^c	
CEM II	Portland-komposit-zement ^d	CEM II/C-M	50 - 64	← ----- 36-50 ----- →									0-5
CEM VI	Komposit-zement	CEM VI (S-P)	35 - 49	31 - 59	–	6 - 20	–	–	–	–	–	–	0-5
		CEM VI (S-V)	35 - 49	31 - 59	–	–	–	6 - 20	–	–	–	–	0-5
		CEM VI (S-L)	35 - 49	31 - 59	–	–	–	–	–	–	6 - 20	–	0-5
		CEM VI (S-LL)	35 - 49	31 - 59	–	–	–	–	–	–	–	6 - 20	0-5

^a Die Werte in der Tabelle beziehen sich auf die Summe der Haupt- und Nebenbestandteile.

^b Der Anteil an Silicastaub ist auf 6 - 10 M.-% begrenzt.

^c Der Anteil an Kalkstein (Summe von L, LL) ist auf 6 - 20 M.-% begrenzt.

^d Die zwei weiteren Hauptbestandteile außer Klinker müssen durch die Bezeichnung des Zements angegeben werden.

↑ Tabelle 1: Anforderungen an die Zusammensetzung von Portlandkompositzement CEM II/C-M und Kompositzement CEM VI gemäß DIN EN 197-5

Die Zementbestandteile müssen die Anforderungen nach EN 197-1:2011, Abschnitt 5, erfüllen.

Für Kalkstein (LL, L) gelten folgende Festlegungen: Der Calciumcarbonatgehalt (CaCO_3), berechnet aus dem Calciumoxidgehalt, muss bei ≥ 40 M.-% liegen. Die Summe aus Calciumcarbonatgehalt (CaCO_3) und Magnesiumcarbonatgehalt (MgCO_3), welche aus dem jeweiligen Calciumoxid- und Magnesiumoxidgehalt berechnet wird, muss bei ≥ 75 M.-% liegen.

Die nach DIN EN 197-5 möglichen Zementzusammensetzungen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

So lassen sich zum Beispiel CEM II/C-M mit 20 M.-% Kalkstein (LL) und bis zu 30 M.-% eines anderen Hauptbestandteils wie Hütten-sand (S), Flugasche (V) oder gebranntem Schiefer (T) herstellen. Bei Verwendung z. B. für Innenbauteile und „normale“ Außenbauteile (XC4, XF1) lassen sich damit bis zu 25 % spezifische CO_2 -Emissionen einsparen [3].

Bis zur Aufnahme in die Musterverwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVB TB), die bereits beantragt ist, ist für die Zemente eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) erforderlich.

Für die Verwendung von CEM II/C-M und CEM VI in Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 ist eine bauaufsichtliche (Anwendungs-)Zulassung des DIBt erforderlich. Es ist geplant, bereits in die kommende DIN 1045-2 Anwendungsregeln für CEM II/C-M(S-LL) analog zu den für CEM II/B-M(S-LL) geltenden Regelungen aufzunehmen. Das heißt, dass, sobald die neue DIN 1045-2 bauaufsichtlich eingeführt ist, CEM II/C-M(S-LL) in allen Expositionsklassen, mit Ausnahme der Expositionsklassen XF2 bis XF4, ohne Anwendungszulassung eingesetzt werden kann. Eine DIBT-Anwendungszulassung wird dann nur noch für die Verwendung in den Expositionsklassen XF2 bis XF4 erforderlich sein. Für alle anderen CEM II/C-M und für CEM VI wird diese Regelung nicht gelten.

QUELLEN:

- [1] <https://www.vdz-online.de/dekarbonisierung>
- [2] DIN EN 197-5: Zement – Teil 5: Portlandkompositzement CEM II/C-M und Kompositzement CEM VI; Deutsche Fassung EN 197-5:2021
- [3] VDZ-Mitteilungen, Nr. 176, Mai 2021, Hrsg.: Verein Deutscher Zementwerke e.V., Düsseldorf



Forschungsprojekt „SAVE CO₂“: Neuartige Schlacken für Zemente der Zukunft



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Dr. Frank Bullerjahn

Senior Scientist Global R&D,
HeidelbergCement AG,
Leimen

HeidelbergCement ist Partner im auf vier Jahre angelegten BMBF-Verbundforschungsvorhaben „Save CO₂“. Zentrales Thema im Forschungsvorhaben ist die Optimierung neuartiger Schlacken, die durch die Umstellung der Stahlerzeugung auf CO₂-reduzierte Produktionsverfahren entstehend werden. Hierbei soll unter anderem die Zusammensetzung sowie die Eigenschaften

dieser neuartigen Schlacken so eingestellt werden, dass die Verwendung in der Zement- und Baustoffindustrie möglich ist. Gleichzeitig erhoffen sich die Projektpartner wegweisende Innovationen für eine ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft und eine Verringerung der Rohstoffabhängigkeit. Das Projekt ist Teil der BMBF-Fördermaßnahme „KlimPro-Industrie¹⁾“.

¹⁾ KlimPro-Industrie: Projekte des BMBF zum Thema „Vermeidung von klimarelevanten Prozessemissionen in der Industrie“

► Forschungsprojekt „SAVE CO₂“: Neuartige Schlacken für Zemente der Zukunft

Eisenhüttenschlacken aus der Roheisenerzeugung, in granulierter Form als Hüttensand bezeichnet, sind Nebenprodukte aus der Eisen- und Stahlproduktion über die Hochofen-/LD-Konverter-Route (siehe dazu Infobox S. 23).

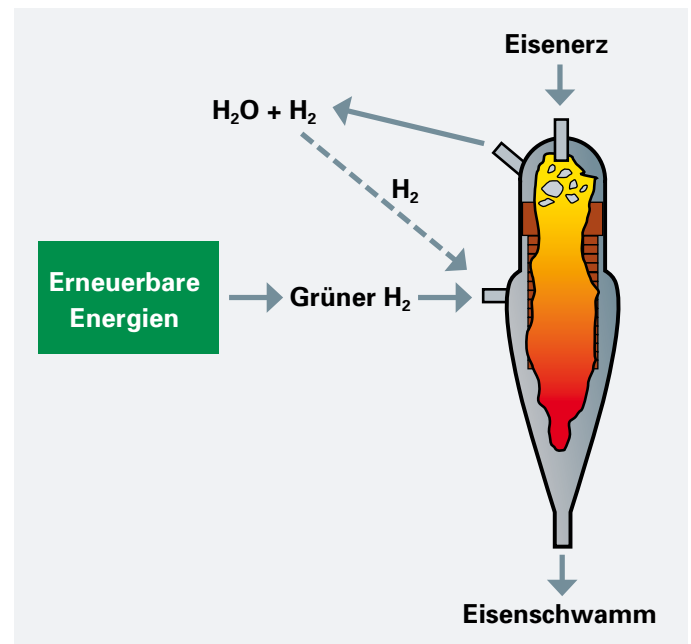
Hüttensand ist ein begehrter und nachhaltiger Rohstoff für die Zement- und Betonindustrie, da über die Substitution von Portlandzementklinker CO₂ eingespart wird und darüber hinaus Zemente mit besonderen Eigenschaften wie niedrige Hydratationswärme (LH), niedriger wirksamer Alkaligehalt (na) und hoher Sulfatwiderstand (SR) hergestellt werden können. Die Bedeutung von Hüttensand für die Zementindustrie zeigt sich auch in Zahlen. Allein in Deutschland wurden seit 1946 Emissionen in Höhe von rund 200 Mio. t CO₂ vermieden und aktuell werden jährlich rund 10 Mio. t natürlicher Rohstoffe geschont [1].

Die Stahlindustrie gehört weltweit zu einem der größten CO₂-Emittenten und begann bereits vor Jahren mit der Entwicklung von innovativen Stahlerzeugungsverfahren zur massiven Minderung von CO₂-Emissionen.

Ein möglicher Lösungsansatz auf dem Weg zur CO₂-Neutralität ist die Umstellung von der Hochofen-/LD-Konverter- auf die Direktreduktion (DR)-Elektroofen-Route (siehe Infobox S. 23). Im DR- Prozess wird unter Verwendung eines Reduktionsgases das Eisenerz zu festem Eisenschwamm reduziert (auch als direkt reduziertes Eisen bezeichnet und mit „DRI: „direct reduced iron“ abgekürzt) und anschließend im Einschmelzer (Sonderform eines Elektrolichtbogenofens) zu Stahl weiterverarbeitet. Hierbei entstehen neuartige Schlacken, deren chemische und mineralogische Zusammensetzung sowie Eigenschaften bisher weitgehend unbekannt sind. Der DRI-Prozess ist schematisch in Abbildung 1 dargestellt.

Einhergehend mit der geplanten, schrittweisen technologischen Umstellung der deutschen Stahlindustrie wird die Verfügbarkeit von Hüttensand sinken und somit die für die Herstellung anwendungsoptimierter und CO₂-effizienter Zemente verfügbaren Mengen.

Die erreichte CO₂-Minderung in der Stahlindustrie würde durch erhöhte CO₂-Emissionen in der Zementindustrie konterkariert werden, wenn die verminderte Verfügbarkeit von Hüttensand durch höhere Klinkergehalte kompensiert werden müsste. Auch besteht das Risiko, dass künftig Millionen Tonnen Elektroofenschlacke deponiert

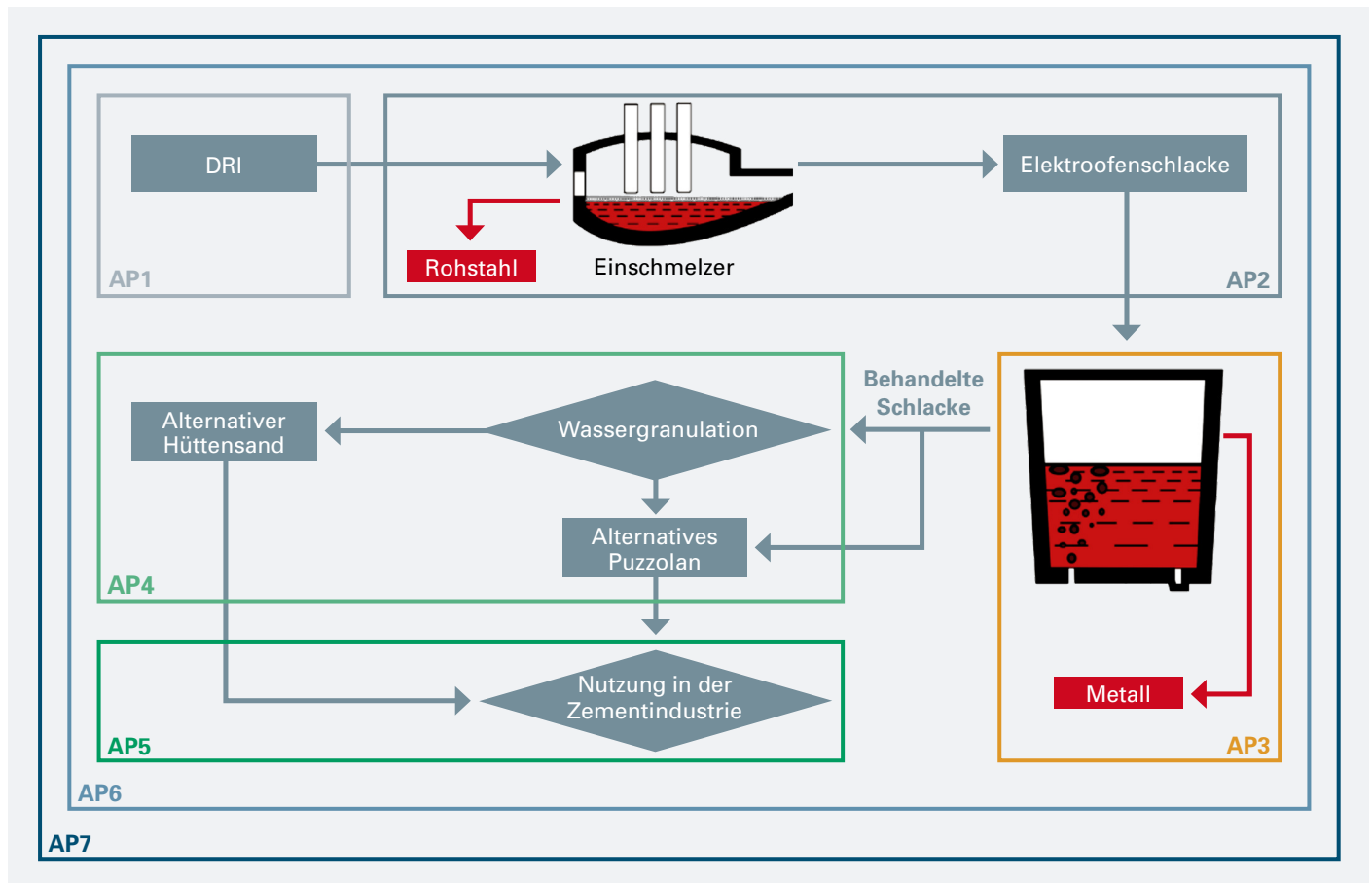


↑ Abbildung 1: Schematische Darstellung eines Schachtofens und des DRI Prozesses

werden müssten, falls diese nicht von der Zementindustrie verwendet werden könnten. Diese Situation zu vermeiden ist eines der erklärten Ziele von „Save CO₂“. Dafür wird im Verbundprojekt „Save CO₂“ die gesamte Prozesskette von Stahl- und Schlackenerzeugung bis hin zum Endanwender, der Zementindustrie und deren Kunden, betrachtet (siehe Abbildung 2, S. 22).

So zielt Arbeitspaket 3 des Projektes „SAVE CO₂“ auf die Untersuchung und Modifizierung der neuartigen Schlacken ab. Hierbei soll deren chemische und mineralogische Zusammensetzung für die Zementherstellung optimiert werden, zum Beispiel durch die Herstellung von mit dem heutigen Hüttensand vergleichbaren latent hydraulischen Stoffen oder innovativer puzzolanartiger Gläser. Um dies zu gewährleisten wird im Vorfeld eine Auswahl an DRI-Qualitäten und Prozessbedingungen im Labormaßstab geprüft (AP1 und AP2).

Anschließend werden ausgewählte Schlacken mit einer hohen hydraulischen oder puzzolanischen Reaktivität für umfangreiche Zement- und Betonuntersuchungen im Technikumsmaßstab hergestellt (AP4). Hierbei liegt der Fokus auf Dauerhaftigkeitsuntersuchungen der mit den innovativen Kompositzementen hergestellten Betone (AP5).

► Forschungsprojekt „SAVE CO₂“: Neuartige Schlacken für Zemente der Zukunft

AP1: Erzeugung von verschiedenen DRI-Qualitäten und Metallanalytik

AP2: Schmelzprozess im Elektroofen

AP3: Chemische Behandlung der Elektroofenschlacke zur weiteren Transformation (ggfs. mit Eisenrückgewinnung)

AP4: Erzeugung und Charakterisierung eines latent hydraulischen und puzzolanischen Materials

AP5: Einsatz der gemahlene Schlacken zur Erzeugung von Portlandkompositzementen in Anlehnung an DIN EN 197-1

AP6: Ökologische und ökonomische Prozessbewertung

AP7: Projektmanagement und Dokumentation

↑ Abbildung 2: Schematische Darstellung der Arbeitspakete und der beteiligten Partner (Quelle: D. Algermissen, FEhS Institut)

Die neuen Schlacken sollen nicht nur die gewohnten technologischen, ökonomischen und ökologischen Eigenschaften aufweisen (AP6), sondern auch zukünftig den CO₂-Fußabdruck der Stahl- und Zementindustrie verringern, sowie Primärrohstoffe ersetzen. So könnten die erklärten Nachhaltigkeitsziele der EU erreicht und bewährte Synergien zwischen Stahl- und Zementherstellern erhalten bleiben.

Die Projektpartner sind:

- FEhS – Institut für Baustoff-Forschung e.V. (Projektkoordination)
- HeidelbergCement AG (HC)
- thyssenkrupp Krupp Steel Europe AG (tkSE)
- Institut für Technologie und Metalle, Universität Duisburg-Essen (itm)
- Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (Umsicht)

► Forschungsprojekt „SAVE CO₂“: Neuartige Schlacken für Zemente der Zukunft

STAHLPRODUKTION ÜBER DIE HOCHOFEN-/LD-KONVERTER-ROUTE IM VERGLEICH ZUR DIREKTREDUKTION (DR)/ELEKTROSCHMELZ-ROUTE

Bisherige Hochofen-Konverter-Route

Direktreduktion (DR) mit Einschmelzer

PROZESSBESCHREIBUNG

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ Koksherstellung durch Pyrolyse von Kohle und Verwendung als Reduktionsmittel. ■ Produktion von grobstückigem Eisenerzsinter aus Feinerz und Einstellung des Basengrads durch z. B. Kalkzugabe in einer Sinteranlage bei 1.000 - 1.200 °C. Alternativ kann stückiges Material durch Pelletierung direkt hergestellt werden. ■ Roheisenerzeugung durch das Aufschmelzen und die Eisenreduktion im Hochofen bei bis zu 2.000 °C. | <ul style="list-style-type: none"> ■ Eisenschwammherstellung: Eisenreduktion in einem Schachtofen bei 800 - 1.000 °C z. B. mittels Erdgases oder grünem Wasserstoff und direkte Überführung in den Einschmelzer. ■ Bei Bedarf kann ein Heizbrikettierungs-Prozessschritt (HBI) zwischengeschaltet werden, um zum Beispiel das stückige Material im LD-Konverter oder Elektrolichtbogenofen einzusetzen. |
|--|--|

VORTEILE

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ Umfangreiche Erfahrung (Qualität, Prozessstabilität, Produktionsmengen). ■ Erzeugung von Hüttensand als gefragtes Nebenprodukt z. B. für die Zementindustrie. ■ Hüttensand ist ein sehr „reiner“/„sauberer“ Sekundärrohstoff. | <ul style="list-style-type: none"> ■ Hohe Flexibilität, da der Eisenschwamm im Hochofen, Einschmelzer, LD-Konverter oder Elektrolichtbogenofen eingesetzt werden kann. ■ Stahlproduktion ohne Einsatz fossiler Brennstoffe und CO₂-neutral möglich. ■ Integration in existierende Anlagen ist theoretisch möglich. ■ Schlacken aus dem Einschmelzer-Verfahren (tkSE) sollten ähnlich „sauber“ wie Hüttensand sein und der Chemismus kann gezielt eingestellt werden. Dies ist Gegenstand derzeitiger Forschung, wie zum z. B. im Rahmen von „Save CO₂“. |
|---|---|

NACHTEILE

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ Derzeit wird vorrangig Koks als Reduktionsmittel eingesetzt, welcher speziell hergestellt werden muss. ■ Sinteranlage zur Herstellung eines stückigen Einsatzmaterials notwendig. ■ Emission von 1,3 - 1,8 t CO₂/t Stahl (CO₂-Bildung ist notwendig für den Prozess und kann nicht vermieden werden). | <ul style="list-style-type: none"> ■ Sehr große Mengen an grünem Wasserstoff oder Methan werden sowohl als Energieträger als auch als Reduktionsmittel benötigt. ■ Verfügbarkeit von Eisenerzpellets als Einsatzmaterial. ■ Große Investitionen notwendig durch Umbau der Prozesskette bei der Stahlherstellung. ■ Bei Nutzung von Eisenschwamm im LD-Konverter oder Elektrolichtbogenofen, neben Schrott, gibt es in der Prozesskette keine metalloxidarme Schlacke wie Hüttensand mehr. |
|---|---|

QUELLEN: [1] <https://www.rohstoff-schlacke.de/der-ressourcenschoner/>

Impressum: Schlussverantwortung Dr. Jennifer Scheydt, Leiterin Engineering und Innovation, Deutschland.

Bildnachweise: HeidelbergCement AG, Steffen Fuchs (S. 1, 17, 18), Paul Poels, Meerlo/Niederlande (S. 2), Iurii Vakaliuk/TU Dresden (S. 6), PERI GmbH, GPI HC Group (S. 7)

« zurück

Hinweis: Sollten Sie diesen Newsletter abbestellen wollen, schicken Sie uns bitte eine kurze E-Mail mit dem Betreff „Abbestellung NewsletterTechnik“ an tecletter@heidelbergcement.com