NEWSLETTER**TECHNIK**

September 2020
Engineering & Innovation

HEIDELBERGCEMENT

ECHT. STARK. GRÜN.

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

wie im letzten Newsletter Technik angekündigt, steht auch diese Ausgabe ganz im Zeichen der CO_2-Thematik, aktuell eine der größten Herausforderungen, der sich die Gesellschaft und auch die Bauindustrie stellen müssen.

Lesen Sie in dieser Ausgabe, wie sich HeidelbergCement zum Thema CO_2-neutrale Betontechnologie aufstellt. Dr. Wolfgang Dienemann, Director Global Research and Development des HTC-Global R&D-Zentrums, stellt die aktuellen Forschungs- und Entwicklungsansätze bei HeidelbergCement vor, über die bis zum Jahr 2050 die CO_2-Neutralität von Beton erreicht werden soll. Hierzu hat HeidelbergCement ganz aktuell einen Aktionsplan CO_2 veröffentlicht. Einen Link zum Aktionsplan finden Sie auf Seite 10 dieses Newsletters.

Dr. Christoph Müller, Leiter der Abteilung Betontechnik und Dr. Sebastian Palm, wissenschaftlicher Mitarbeiter der VDZ Technology gGmbH, zeigen in ihrem Beitrag, welche Möglichkeiten zur Verbesserung der CO_2-Bilanz im Beton es bereits heute durch den Einsatz sogenannter klinkereffizienter Zemente CEM II/B-M und CEM II/C-M gibt.

Passend zum Thema hat das Informationszentrum Beton (IZB) eine Broschüre sowie eine Webseite mit dem Titel „Beton. Die beste Wahl." veröffentlicht. Dazu finden Sie am Ende des Newsletters eine einführende Information.

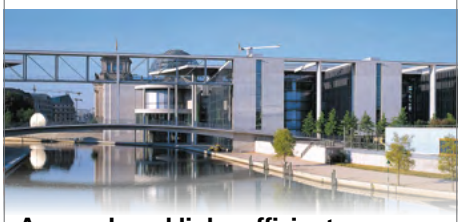
Last but not least möchten wir Sie, unsere Leser, zu einem Online-Seminar einladen, in dem wir mit Ihnen aktuelle und künftige Entwicklungen in der Zement- und Betonbranche, insbesondere zur CO_2-Thematik teilen und diskutieren möchten. Die Möglichkeit zur Anmeldung finden Sie auf Seite 10 dieses Newsletters.

Wir freuen uns auf einen konstruktiven Austausch mit Ihnen und wünschen Ihnen auch mit dieser Ausgabe zum Thema CO_2 eine interessante Lektüre. Ein Thema, das uns alle angeht.

Ihre
Dagmar Küchlin
Teamleiterin Anwendungstechnik Zement,
Abteilung Engineering & Innovation, Leimen

HeidelbergCement's Vision 2050 – CO_2-neutrale Betontechnologie mehr »

Online-Seminar
Zement- und Betonwelt im Wandel – Die Branche stellt sich zukunftsfähig auf mehr »



Anwendung klinkereffizienter Zemente mehr »

Beton. Die beste Wahl.

... ein Fakten-check.

mehr »

»

↑ Einbau von Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen beim Bau des Umweltbildungszentrums (UBZ) der Entsorgungsbetriebe der Stadt Mainz (2017)

HeidelbergCement's Vision 2050 – CO_2-neutrale Betontechnologie

Dr. Wolfgang Dienemann

Director Global Research & Development,
HTC-Global R&D,
HeidelbergCement AG, Leimen

„CO_2" und „Klimawandel" – Schlagwörter, die uns derzeit an jeder Ecke begegnen und ja auch in diesem und dem vorherigen *Newsletter Technik [1]* im Mittelpunkt stehen. Die gesellschaftspolitische Diskussion zum Thema Klimawandel und die daraus zu erwartenden gesetzgeberischen Konsequenzen werden gerade auch für die Zement- und Betonindustrie einen radikalen Wandel bedeuten. In diesem Kontext wird von vielen Seiten das Ziel Klimaneutralität 2050 ausgerufen oder versprochen.

Und auch HeidelbergCement hat sich diesem Ziel verpflichtet und die „Vision 2050 – CO_2-neutraler Beton" angekündigt.

CO_2-neutraler Beton? Wie soll das gehen? Ist das überhaupt möglich oder nur eine Marketing Phrase? Ich möchte Ihnen in diesem Artikel darlegen, mit welchen Schlüsseltechnologien wir unser Ziel – Beton zum nachhaltigsten aller Baustoffe zu machen – erreichen wollen.

DIE VISION 2050 – EIN GESCHLOSSENER MATERIAL- UND CO_2-KREISLAUF IN DER BETONINDUSTRIE

Die Vision einer CO_2-neutralen Betontechnologie beruht nicht auf der Hoffnung, plötzlich einen CO_2-freien Wunderbeton zu erfinden. Vielmehr basiert sie auf vielen Bausteinen und Elementen, die zusammengefügt einen geschlossenen Stoff- und CO_2-Kreislauf ergeben (siehe Bild 1).

▶ HeidelbergCement's Vision 2050 – CO_2-neutrale Betontechnologie

Die wesentlichen Bausteine für die Verwirklichung eines CO_2-neutralen Betonkonzepts sind:

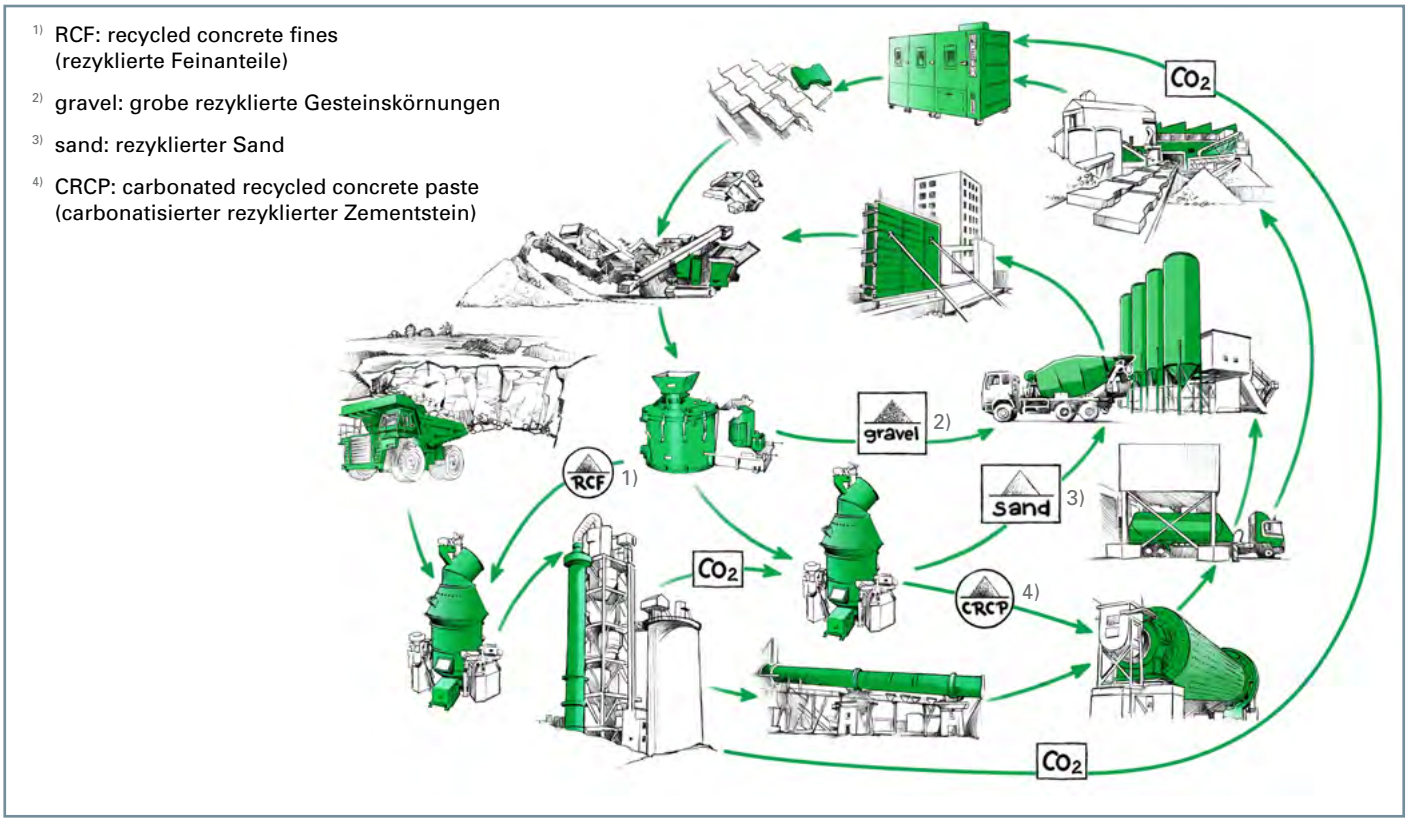
- CO_2-arme Rohstoffe
- Alternative Brennstoffe und Biomasse
- Öfen mit Carbon Capture Technologie
- Alternative Bindemittel
- Multikomponentenzemente
- Neue Zusatzstoffe
- Optimierte Betonrezepturen
- Carbonatisierungshärtung
- Optimierte Recyclingtechnologien

Einsatz CO_2-armer Rohstoffe

Das Konzept des CO_2-neutralen Betons beginnt bei den Rohstoffen für die Klinkerproduktion. Hier wollen wir deutlich mehr bereits de-carbonatisierte – also CO_2-freie Materialien einsetzen. Eine wesentliche Quelle dafür ist rezyklierter Altbeton, aus dem wir den hydratisierten Zementstein zurückgewinnen wollen. Daneben eignen sich auch andere CO_2-arme Calciumkomponenten wie beispielsweise Braunkohleflugaschen als Rohmehlkomponente für die Klinkerherstellung.

Alternative Brennstoffe und Biomasse sowie Öfen mit Carbon Capture Technik

In der Klinkerproduktion werden die brennstoffbedingten CO_2-Emissionen durch den vermehrten Einsatz alternativer Brennstoffe und Biomasse minimiert. Langfristig sind auch völlig neue Technologien, wie z.B. eine elektrische Beheizung der Öfen auf Basis erneuerbarer Energie denkbar. Zudem werden die Öfen mit Carbon Capture Technik [2] ausgestattet sein, um die verbleibenden CO_2-Emissionen abzuscheiden.



↑ Bild 1: Der CO_2- und Stoffkreislauf von Beton als Basis für die Realisierung eines CO_2-neutralen Betonkonzepts

Multikomponentenzemente sowie neue Zusatzstoffe in Verbindung mit optimierten Recyclingtechnologien

Bei der Zementmahlung wird durch einen erhöhten Anteil von weiteren Hauptbestandteilen und moderne Mahlkonzepte, d.h. gezielter Abstimmung der Feinheit der einzelnen Komponenten, der Klinkeranteil weiter abgesenkt. Neben den konventionellen weiteren Hauptbestandteilen wie Hüttensand, Flugasche und Kalkstein werden auch neue, alternative Stoffe wie kalzinierte Tone oder re-carbonatisierter Zementstein aus rezykliertem Altbeton zum Einsatz kommen.
Re-carbonatisiertem Zementstein aus rezykliertem Altbeton kommt in dem ganzen Konzept eine Schlüsselrolle zu: Hydratisierter Zementstein im Beton ist in der Lage das CO_2, das beim Brennprozess freigesetzt wurde, auch wieder einzubinden. Aus Kalkstein wird also wieder Kalkstein und somit wird dauerhaft CO_2 eingebunden (s. Bild 2). Dieser, als Re-carbonatisierung bezeichnete Vorgang, verläuft unter normalen Umweltbedingungen und in Abhängigkeit von Betonanwendung und -güte langsam und nur an der Oberfläche. Dennoch wird dabei rund 20 bis 25 % des emittierten CO_2 während Nutzung und Recycling des Bauwerks wieder in Beton eingebunden, wie wissenschaftliche Studien belegen [3].

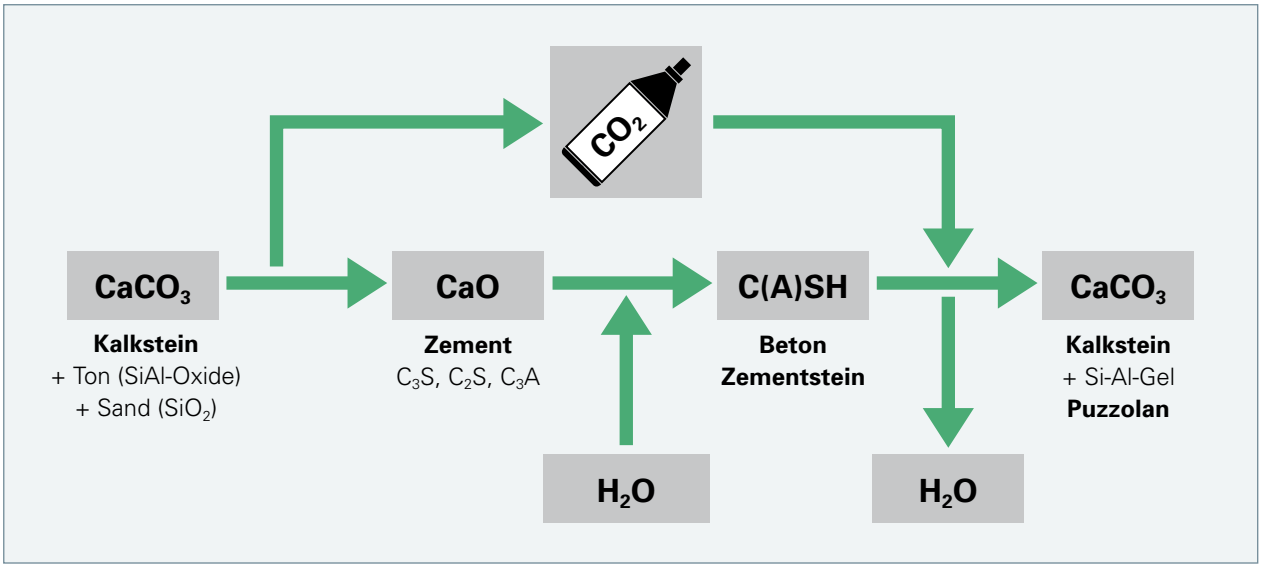
Beim Recycling und mit entsprechender Aufbereitung lässt sich die Carbonatisierung stark beschleunigen und im Zeitraum von Minuten nahezu vollständig realisieren. Bei der Carbonatisierung des alten Zementsteins entsteht neben Kalkstein eine reaktive Alumosilikatphase mit puzzolanischen Eigenschaften (s. Bild 2). Diese Kombination kann als Hauptbestandteil im Zement eingesetzt werden und spart somit Klinker – eine doppelte Hebelwirkung zur CO_2-Einsparung also.

Optimierte Betonrezepturen

Bei der Betonherstellung gibt es, z.B. durch Optimierung der Packungsdichte sowie dem Einsatz von Füllern und modernen Zusatzmitteln, Klinker- und somit CO_2-Einsparpotentiale. Voraussetzung hierfür sind allerdings hochwertige Gesteinskörnungen und eine sorgfältige Prozess- und Qualitätskontrolle bei der Betonherstellung und -verarbeitung.

Carbonatisierungshärtung

Ein weiteres Element ist die Carbonatisierungshärtung von Betonteilen, die im nachfolgenden Kapitel ausführlicher erläutert wird. Die CO_2-Behandlung von frischen Betonprodukten, wie z.B. Pflastersteinen, führt zu einer Carbonatisierung der Calciumphasen und damit einhergehend der Aushärtung des Produkts. Dabei erfolgt die dauerhafte Einbindung von CO_2 bereits in einer sehr frühen Phase des Produktlebenszyklus.



↑ Bild 2: Aus Kalkstein wird Kalkstein: Beim Brennprozess freigesetztes CO_2 wird bei der Re-carbonatisierung im Zementstein eingebunden.

Alternative Bindemittel

Eine spezielle Variante zur CO_2-Reduktion bietet die Verwendung von Neuentwicklungen wie Ternocem® als alternative Zementtechnologie. Ternocem® ist ein Zement, der anstelle des CO_2- und energieintensiven Alits (Tricalciumsilikat C_3S) als Hauptklinkerphase Calciumsulfoaluminat (CSA) für die frühe Festigkeitsentwicklung verwendet. Dieser neue Zement mit geringem Calciumanteil vereint sehr hohe Frühfestigkeiten mit einem um ca. 30 % reduzierten CO_2-Fußabdruck. Somit ist er ideal für den Einsatz im Fertigteilbereich, wo klinkerreduzierte Systeme den Anforderungen an kurze Fertigungstakte nicht genügen [4].
Die für die CSA-Bildung erforderliche Zugabe von Bauxit und die notwendigen Anlageninvestitionen machen den großindustriellen Einsatz unter derzeitigen Rahmenbedingungen aktuell nicht wirtschaftlich.

Die hier beschriebenen Ansätze zeigen: In der Kombination von CO_2-Einsparungen bei der Zement- und Betonherstellung, Carbon Capture Technologien und Verwendung des CO_2 zur Produktion von Zumahlstoffen und Betonprodukten liegt also tatsächlich die Möglichkeit – über den gesamten Lebenszyklus betrachtet – eine CO_2-neutrale Betontechnologie zu realisieren.

VON DER IDEE ZUR UMSETZUNG

Die zuvor genannten Technologien und Konzepte befinden sich in sehr unterschiedlichen Entwicklungsphasen. Die ausgereiften Technologien – wie der Einsatz alternativer Roh- und Brennstoffe oder Reduzierung des Klinkerfaktors im Zement – wird HeidelbergCement zeitnah zur weiteren Reduzierung der CO_2-Emissionen nutzen.
Mit diesen Maßnahmen wird es möglich sein, unsere veröffentlichten Nachhaltigkeitsziele, also um 30 % reduzierte spezifische CO_2-Emissionen bis 2030 als Zwischenziel zu erreichen [2, 5].

Parallel dazu wird HeidelbergCement – neben Carbon Capture – die Entwicklung von vier Schlüsseltechnologien massiv vorantreiben, um unser Ziel einer CO_2-neutralen Betontechnologie bis 2050 zu ermöglichen:

- Einsatz kalzinierter Tone als Zementkomponente
- Nutzung von Zementstein aus Altbeton als Rohmaterial für die Klinkerherstellung
- Nutzung von re-carbonatisiertem Zementstein als Zementhauptbestandteil
- Carbonatisierungshärtung von Betonwaren

In allen Fällen ist es das Ziel, diese Technologien innerhalb der nächsten zehn Jahre zur industriellen Marktreife zu entwickeln.

Kalzinierte Tone als Zementkomponente

Kalzinierte Tone wurden bereits zu früheren Zeiten im Zement eingesetzt und sind mit der Kennung Q auch ein genormter Hauptbestandteil nach EN 197-1. Sie entstehen bei der Kalzinierung geeigneter Tone im Temperaturfenster zwischen 700° und 1000°C und weisen puzzolanische Eigenschaften auf.

Zemente mit kalzinierten Tonen als Hauptbestandteil werden vielfach als eine wesentliche Säule zur Reduktion des Klinkeranteils beschrieben, siehe u.a. „A sustainable future for the European Cement and Concrete Industry" [6] und „Technology Roadmap Low-Carbon Transition in the Cement Industry" [7]. Ihre technologische Entwicklung ist recht weit fortgeschritten und es gibt erste Beispiele industrieller Anwendungen in Kuba und Kolumbien.

In Europa stehen kalzinierte Tone im Wettbewerb mit den traditionellen weiteren Zementbestandteilen bzw. Betonzusatzstoffen Hüttensand und Flugasche und sind derzeit kostenmäßig noch nicht wettbewerbsfähig. Öffnungen bzw. Erweiterungen der Zementnorm in Richtung CEM II/C-M Zemente sowie Verknappung und Preissteigerungen bei Hüttensand und Flugasche lassen aber einen Markteintritt in absehbarer Zukunft wahrscheinlicher werden.
Nach vorliegenden wissenschaftlichen Studien und eigenen Untersuchungen sollten mit der Kombination kalzinierte Tone/Kalkstein Klinkersubstitutionsraten von 40 bis 50 % realisierbar sein.

Rezyklierter Zementstein als Rohmaterial für die Klinkerherstellung

Bei der heute praktizierten Technologie des Betonrecyclings erfolgt typischerweise lediglich eine Auftrennung in grobe Gesteinskörnungsfraktionen und eine Fraktion kleiner 4 mm. Die grobe Körnung findet zumindest in Teilen wieder Verwendung in Beton [8]. Der sog. Betonbrechsand geht heute nahezu ausschließlich in untergeordnete Anwendungen, wird also „down-gecycelt" [9].

Theoretisch wäre diese Fraktion als Komponente in der Rohmischung für die Klinkerherstellung einsetzbar. Jedoch begrenzt der hohe (Quarz-) Sandanteil von ca. 70 % den maximalen Anteil im Rohmehl auf wenige Prozent. Gleichzeitig geht mit der heutigen Praxis eine knapper werdende Ressource – Betonsand – für hochwertige Anwendungen verloren.

Hier gilt es Technologien zu entwickeln, die eine saubere Auftrennung des Altbetons in seine Komponenten Grobzuschlag, Sand und Zementstein – und damit wirkliches Recycling – ermöglichen. Der rezyklierte Zementstein kann dann als Rohmehlkomponente eingesetzt werden.

Diesem Thema stellen wir uns als Kooperationspartner im Verbundforschungsvorhaben C^2inCO_2 – Calcium Carbonatisierung zur industriellen Nutzung von CO_2 *(https://co2-utilization.net/de/projekte/co2-mineralisation/c2inco2/)*, einem Forschungsvorhaben im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme „CO_2 als nachhaltige Kohlenstoffquelle – Wege zur industriellen Nutzung (CO_2-WIN)".

Neben der Entwicklung geeigneter Prozesse müssen wir auch die Nachweise erbringen, dass die Recyclingmaterialien im Beton eine gleichwertige Leistungsfähigkeit wie natürliche, frisch gewonnene Kiese und Sande gewährleisten. Und schließlich müssen diese Ergebnisse in den Regelwerken berücksichtigt werden, um eine wirkliche Kreislaufwirtschaft zu realisieren.

↑ Bild 3: Moderne Recyclinganlage – verbesserte Recyclingtechnologien stehen im Fokus der Vision 2050.

Re-carbonatisierter Zementstein als Zementhauptbestandteil

Das volumenmäßig wohl größte CO_2-Einsparpotential bietet die Re-carbonatisierung des Zementsteins von Altbeton und die Verwendung dieses Materials als weiterer Hauptbestandteil im Zement.

Allerdings steht diese Technologie noch ganz am Anfang ihrer Entwicklung und ist bisher lediglich im Labormaßstab realisiert worden. Aus unseren Untersuchungen ist aber bereits offensichtlich, dass die Re-carbonatisierung von Zementstein bei vergleichsweise „milden" Prozessbedingungen – ca. 60 bis 80°C und Normaldruck – im Minutenmaßstab abläuft [10], [11]. Daher gehen wir davon aus, dass sich dieses Konzept mit Technologien großtechnisch umsetzen lässt, wie sie auch an anderer Stelle in der Zementproduktion eingesetzt werden.

Auch für dieses Konzept ist natürlich eine saubere Auftrennung des Altbetons in seine Ausgangskomponenten Kies, Sand und Zementstein Grundvoraussetzung. Dann kann die Carbonatisierung des Zementsteins entweder integriert in den Aufbereitungsprozess oder als eigenständiger Prozessschritt erfolgen. Unser Ziel ist es, hierfür Technologien zu entwickeln, die dezentral und mobil, z.B. bei einer Recyclinganlage, oder zentral, z.B. in einem Zementwerk, einsetzbar sind. Hierzu ist ein mehrjähriges Kooperationsprojekt mit Partnern aus Industrie und Forschung in unserem Global R&D-Zentrum in Leimen initiiert worden.

Neben der Prozesstechnik zur Separierung und Carbonatisierung des Zementsteins sind auch zahlreiche materialtechnische Fragestellungen zu lösen. Dies beginnt beim Nachweis der puzzolanischen Reaktivität des carbonatisierten Zementsteins, also wie hoch der Festigkeitsbeitrag dieser Komponente ist. Die Auswirkungen auf rheologische Eigenschaften und die mechanische Leistungsfähigkeit von Mörteln und Betonen mit re-carbonatisiertem Zementstein müssen intensiv geprüft werden. Und schließlich ist die Dauerhaftigkeit damit hergestellter Betone „auf Herz und Nieren" zur prüfen. Schlussendlich brauchen wir all diese Untersuchungen, um Produkt- und Anwendungszulassungen und später Normen zu entwickeln, die einen Einsatz in der Praxis ermöglichen.

↑ Abbruch von Bestandsgebäuden: re-carbonatisierter Zementstein aus Altbeton als künftige Quelle für weitere Hauptbestandteile im Zement

Carbonatisierungshärtung von Betonwaren

Die vierte Schlüsseltechnologie an der wir in der zentralen R&D intensiv arbeiten, ist die Carbonatisierungshärtung von Betonwaren. Dieser technologische Ansatz ist nicht ganz neu. Bereits seit Jahrzehnten gibt es Härtungskammern für Betonwaren, die mit erhöhten CO_2-Konzentrationen betrieben werden. Hierdurch erfolgt eine oberflächliche Carbonatisierung, die eine schnelle Aushärtung zur Folge hat [12]. Dies ermöglicht eine schnellere Oberflächenbearbeitung und reduziert Ausblühungen.

In den letzten Jahren hat das Start-Up Unternehmen Solidia aus den USA eine Technologie entwickelt, bei der ein Spezialzement für Betonwaren verwendet wird, die durch Carbonatisierung aushärten [13]. Bei diesem Verfahren kommt ein Spezialklinker auf Basis von Wollastonit ($CaSiO_3$) zum Einsatz, der aufgrund seines geringeren Calciumanteils bei der Herstellung weniger CO_2 freisetzt. Zudem wird bei der vollständigen Carbonatisierung in der Härtekammer die äquivalente Menge CO_2 wieder eingebunden; netto verbleiben also nur die brennstoffbedingten Emissionen.

In eigenen Untersuchungen haben wir festgestellt, dass die Carbonatisierung von klassischem Portlandzement deutlich schneller und einfacher abläuft als mit Wollastonit. Hieraus entstand das Konzept, eine Carbonatisierungshärtung von Betonwaren auf Basis von konventionellem Zement zu entwickeln. Durch die Carbonatisierungshärtung können die prozessbedingten CO_2-Mengen schon bei der Betonherstellung nahezu vollständig wieder eingebunden werden. Positiver Nebeneffekt: Die Endfestigkeit ist mit Verlassen der Härtekammer erreicht und das Produkt ist verkaufsbereit.
Auch für dieses Technologiekonzept haben wir ein Entwicklungsprojekt mit Partnern gestartet, um geeignete Verfahren, Prozesssteuerung und das nötige Equipment zu entwickeln.

← Feldversuch zur Carbonatisierungshärtung von Betonwaren

AUSBLICK

Mit den beschriebenen Schlüsseltechnologien sehen wir die Möglichkeit, den CO_2- sowie den Stoffkreislauf in unserer Branche nahezu vollständig zu schließen. Allerdings liegt auf dem Weg noch viel Arbeit vor uns. Die größten technologischen Hürden sind die sortenreine Auftrennung von Altbeton, die Re-carbonatisierung des Zementsteins und die Anlagentechnologie für die Carbonatisierungshärtung.
Wir sind zuversichtlich, dass wir diese technologischen Hürden in den kommenden fünf bis zehn Jahren überwinden können und die Konzepte zur Industriereife entwickeln.

Allerdings braucht es für die Umsetzung der Vision 2050 auch Änderungen in den politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen.

Punkt eins ist der Zugriff auf Altbeton. Durch die heutige Recyclingpraxis, d.h. dem Brechen und Sieben von Altbeton mit anschließender Nutzung im Betonunterbau bzw. die Verbringung auf Deponien, wird der weit überwiegende Anteil des Altbetons bzw. des Brechsandes an einer Carbonatisierung gehindert. Damit geht ein wertvolles und volumenmäßig sehr bedeutsames Material zur dauerhaften CO_2-Einbindung verloren.
Hier müssen wir zu einem Rücknahmesystem kommen. Dies gibt uns als Zementhersteller eine weitere Möglichkeit, CO_2-Emissionen substanziell zu senken, abgefangenes CO_2 sinnvoll zu nutzen und daraus neuen Zement herzustellen.

Ein zweiter Aspekt ist die Notwendigkeit einer CO_2-Transportinfrastruktur. Der Transport großer Mengen von verflüssigtem CO_2 auf Straße oder Schiene ist ökonomisch und ökologisch wenig sinnvoll. Mittelfristig brauchen wir ein CO_2-Pipelinenetz, um kosteneffizient und ökologisch CO_2 vom Emittenten (Zementwerk) zum Verbraucher (Recyclinganlage, Betonwarenproduzent) zu transportieren.

← Abbruch von Bestandsgebäuden: re-carbonatisierter Zementstein aus Altbeton als künftige Quelle für weitere Hauptbestandteile im Zement

Drittens brauchen wir nicht nur die schnelle Bearbeitung von entsprechenden Produkt- und Anwendungszulassungen für neue Zemente mit geringerem CO_2-Footprint, sondern auch die Bereitschaft, aller am Bau Beteiligten, neue Zemente wie z.B. Zemente mit kalzinierten Tonen oder re-carbonatisiertem Zementstein einzusetzen und diese so schneller in die Anwendung bringen zu können.

Auch eine schnellere Aufnahme von neuen Produkten oder Anwendungen in die gültigen technischen Regelwerke, die derzeit 10 Jahre oder mehr betragen kann, wäre wünschenswert. Selbstverständlich unter Einhaltung des obersten Gebots, dass auch mit Innovationen die Bauwerksicherheit auf dem bestehenden Niveau beibehalten werden muss.

Und schließlich brauchen wir Sie – unsere Kunden! Wir brauchen die Bereitschaft im Markt, die neuen Zemente mit ggf. auch leicht veränderter Charakteristik einzusetzen. Und dies auch, wenn aufgrund der abgesenkten Klinkergehalte mit diesen Zementen möglicherweise nicht alle Betonanwendungen abgedeckt werden können. Ohne eine Differenzierung und zielgerichtete Auswahl von Zementen ist der erforderliche Wandel unserer Industrie nicht zu schaffen. Eine solche Transformation einer ganzen Branche ist offensichtlich nicht durch einzelne Unternehmen zu bewältigen und natürlich werden die beschriebenen Maßnahmen auch viel Geld kosten – Mehrkosten, die letztlich durch die Bauherren getragen werden müssen.

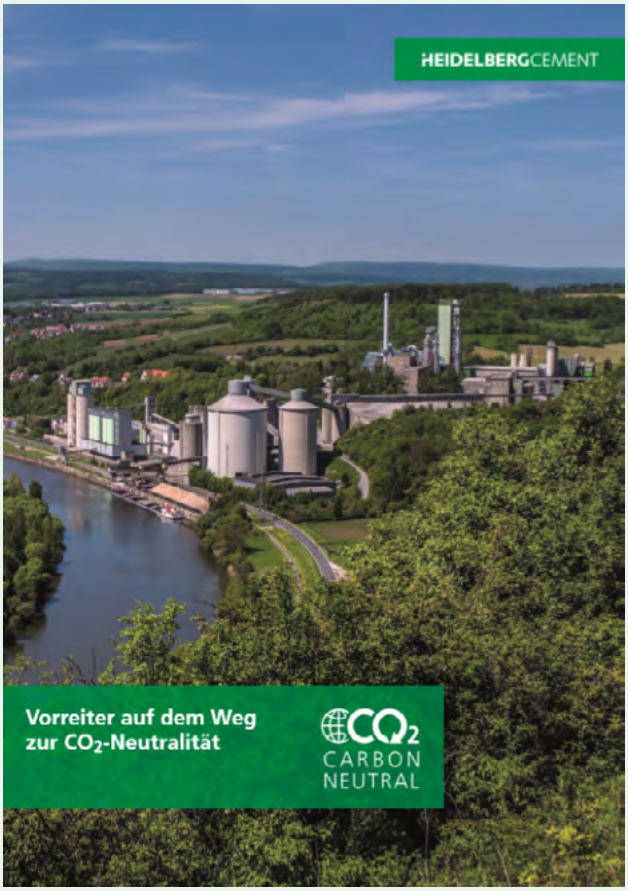
Undenkbar?

„Probleme kann man niemals mit derselben Denkweise lösen, durch die sie entstanden sind."

(Albert Einstein)

ENERGIE UND KLIMASCHUTZ – UNSER AKTIONSPLAN CO_2

Nachhaltiges Wirtschaften ist ein wesentlicher Bestandteil von HeidelbergCement und wird auch in Zukunft ein Schwerpunkt unserer Unternehmensstrategie sein. Im Mittelpunkt steht der Klimaschutz: Als energieintensives Unternehmen bemühen wir uns seit vielen Jahren, unsere CO_2-Emissionen zu minimieren.
Wir haben daher unser für 2030 angestrebtes Ziel von 30 % auf 2025 vorverlegt, und für 2030 ein neues, ambitioniertes Ziel von weniger als 500 kg CO_2 pro Tonne zementartigem Material definiert – all dies wird durch einen klaren Aktionsplan untermauert, den Sie hier herunterladen können:
https://www.heidelbergcement.com/de/energie-und-klimaschutz



LITERATURVERZEICHNIS

[1] *Newsletter Technik 2020 (Ausgabe 32/ März)*

[2] *Newsletter Technik 2020 (Ausgabe 32/ März)*

[3] "Carbonation as a method to improve climate performance for cement based material" (R. Andersson, H. Stripple, T. Gustafsson, C. Ljungkrantz) Cement and Concrete Research. 124 (2019) 105819. *https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.105819*.

[4] "Progress in the development of Ternocem – A belite ye'elimite ferrite cement" (W. Dienemann, M. Ben Haha), Tagungsband IBAUSIL 2018, S. 339 ff

[5] Nachhaltigkeitsbericht 2018, HeidelbergCement AG

[6] "A sustainable future for the European Cement and Concrete Industry", ETH Zürich, EPFL

[7] "Technology Roadmap Low-Carbon Transition in the Cement Industry", IEA, CSI

[8] „Status Quo beim Einsatz rezyklierter Gesteinskörnungen in der Betonherstellung" (J. Scheidt, W. Breit), ´beton´ [1+2/2018], S. 14 ff

[9] „Ganzheitliche Bewertung von R-Beton – Ökobilanzen, Lebenszyklusbetrachtung, Umwelt" (F. Knappe, F. Reiners, A. Vollpracht), Tagungsband IBAUSIL 2018, S 1651 ff

[10] „CO_2 utilization for transformation of demolishing waste into cementitious materials" (M. Zajac, J. Skocek, M. Ben Haha), Goldschmidt 2019, Barcelona

[11] „Hydration mechanisms of CO_2-activated recycled cementitious materials in cements" (J. Skocek, M. Zajac, M. Ben Haha), Goldschmidt 2019, Barcelona

[12] "Accelerated Curing of Cementitious Systems by Carbon Dioxide: I" (W. A. Klemm, R.L. Berger), Cem. Concr. Res. 2 [5] 567 – 76 (1972)

[13] "Properties of Solidia Cement and concrete" (V. Meyer, S. Sahu, A. Dunster), Tagungsband 1st International Conference on Innovation in Low-Carbon Cement & Concrete Technology, S. 56 ff

Online-Seminar

Zement- und Betonwelt im Wandel – Die Branche stellt sich zukunftsfähig auf

In einer zweistündigen Online-Veranstaltung möchten wir die aktuellen und zukünftigen Entwicklungen in der Zement- und Betonbranche sowie bei HeidelbergCement inbesondere hinsichtlich der CO_2-Thematik mit Ihnen teilen und diskutieren.

TERMIN
19. OKTOBER 2020
VON 14:00 UHR BIS 16.00 UHR

Sie können sich **HIER** oder über den QR-Code anmelden.

Wir freuen uns auf Ihre Teilnahme.

↑ Regierungsbauten Berlin, gebaut mit klinkereffizienten Zementen

Anwendung klinkereffizienter Zemente

Dr. Christoph Müller

Leiter der Abteilung Betontechnik
und Geschäftsführer der
VDZ Technology gGmbH,
Düsseldorf

Dr. Sebastian Palm

wissenschaftlicher Mitarbeiter
in der Abteilung Betontechnik,
VDZ Technology gGmbH,
Düsseldorf

Portlandzementklinker wird auf absehbare Zeit der wesentliche Bestandteil von Zement bleiben. Alternativen in ausreichender technischer Qualität, die den stetig wachsenden globalen Bedarf an Zement decken können, sind bislang nicht in Sicht. Daher bleibt die weitere Steigerung der Klinkereffizienz über die Senkung des Klinker/Zement-Faktors mit den zur Verfügung stehenden Rohstoffen ein wesentlicher Baustein, um weitere CO_2-Minderungspotentiale zu heben. Da für die Qualitätskette im Betonbau normative Regelungen eine wesentliche Basis darstellen, sind auch für neue, klinkereffiziente Zemente entsprechende Regeln eine wichtige Voraussetzung für eine breite Marktdurchdringung. Für die bereits bekannten CEM II/B-M-Zemente sowie neue CEM II/C-M und CEM VI-Zemente werden derzeit wichtige Weichen gestellt. Dieser Beitrag gibt einen Überblick der Verwendung klinkereffizienter Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen und schaut auf die weitere Entwicklung.

HERAUSFORDERUNG KLIMASCHUTZ

Erhöhte Anforderungen an die Ressourceneffizienz und den Klimaschutz werden die moderne Betonbauweise auch weiterhin vor große Herausforderungen stellen. Da ein Königsweg für deren Bewältigung kurzfristig nicht in Sicht ist, gilt es, die Potenziale aller zur Verfügung stehenden Möglichkeiten gleichermaßen zu heben.

Erhebliche Anstrengungen der Zementwerke zur Steigerung der thermischen Energieeffizienz haben dazu geführt, dass dieser Weg der CO_2-Reduzierung in der Zementherstellung mittlerweile weitestgehend ausgeschöpft ist. Die vermehrte Nutzung alternativer Roh- und Brennstoffe, insbesondere CO_2-neutraler Biomasse, ist ein weiterer Baustein. Diese Möglichkeit wird ebenfalls seit vielen Jahren konsequent umgesetzt. Gleichwohl bestehen hier noch gewisse Entwicklungspotenziale.
Da die Möglichkeiten der genannten Wege aber ausgeschöpft bzw. limitiert sind, wird nun mit Hochdruck an sogenannten „Breakthrough-Technologien" für den Herstellprozess gearbeitet. Hierbei steht die CO_2-Abscheidung und -Nutzung (s. dazu auch [1]) in Zementwerken im Mittelpunkt.
Neben den verfahrenstechnisch geprägten Maßnahmen sind insbesondere auch die bereits bewährten baustofflichen Konzepte weiterzuentwickeln. Hierbei ist als wesentliche Randbedingung zu berücksichtigen, dass Portlandzementklinker auf absehbare Zeit der wesentliche Bestandteil von Zement bleibt. Alternativen in ausreichender technischer Qualität, die den stetig wachsenden globalen Bedarf an Zement decken können, sind bislang nicht in Sicht.
Daher bleibt die weitere Steigerung der Klinkereffizienz über die Senkung des Klinker/Zement-Faktors mit den zur Verfügung stehenden Rohstoffen die wesentliche Herausforderung.

Klinkereffiziente Zemente zeichnen sich dadurch aus, dass die geforderte technische Leistungsfähigkeit mit einem verringerten Klinkereinsatz erreicht wird. Es gilt also die CO_2-Bilanz des Betons weiter zu verbessern, ohne die technische Leistungsfähigkeit, d. h. die Sicherheit und die Lebensdauer von Bauwerken aus den Augen zu verlieren. Im einfachsten Fall ist das wesentliche Leistungsmerkmal, neben baustellentauglichen Frischbetoneigenschaften, die Druckfestigkeit – stellvertretend für die mechanischen Eigenschaften des Betons. Je nach Anwendungsfeld des Betons steht die Dauerhaftigkeit zusätzlich im Mittelpunkt der Betrachtungen.

BREAKTHROUGH-TECHNOLOGIEN

Unter einer „Breakthrough-Technologie" versteht man eine ganz neue, innovative Technik bzw. Produktentwicklung, die anders als die kontinuierliche Weiterentwicklung einer bereits bestehenden Technologie einen sehr großen Beitrag zur Lösung einer Fragestellung leisten kann.

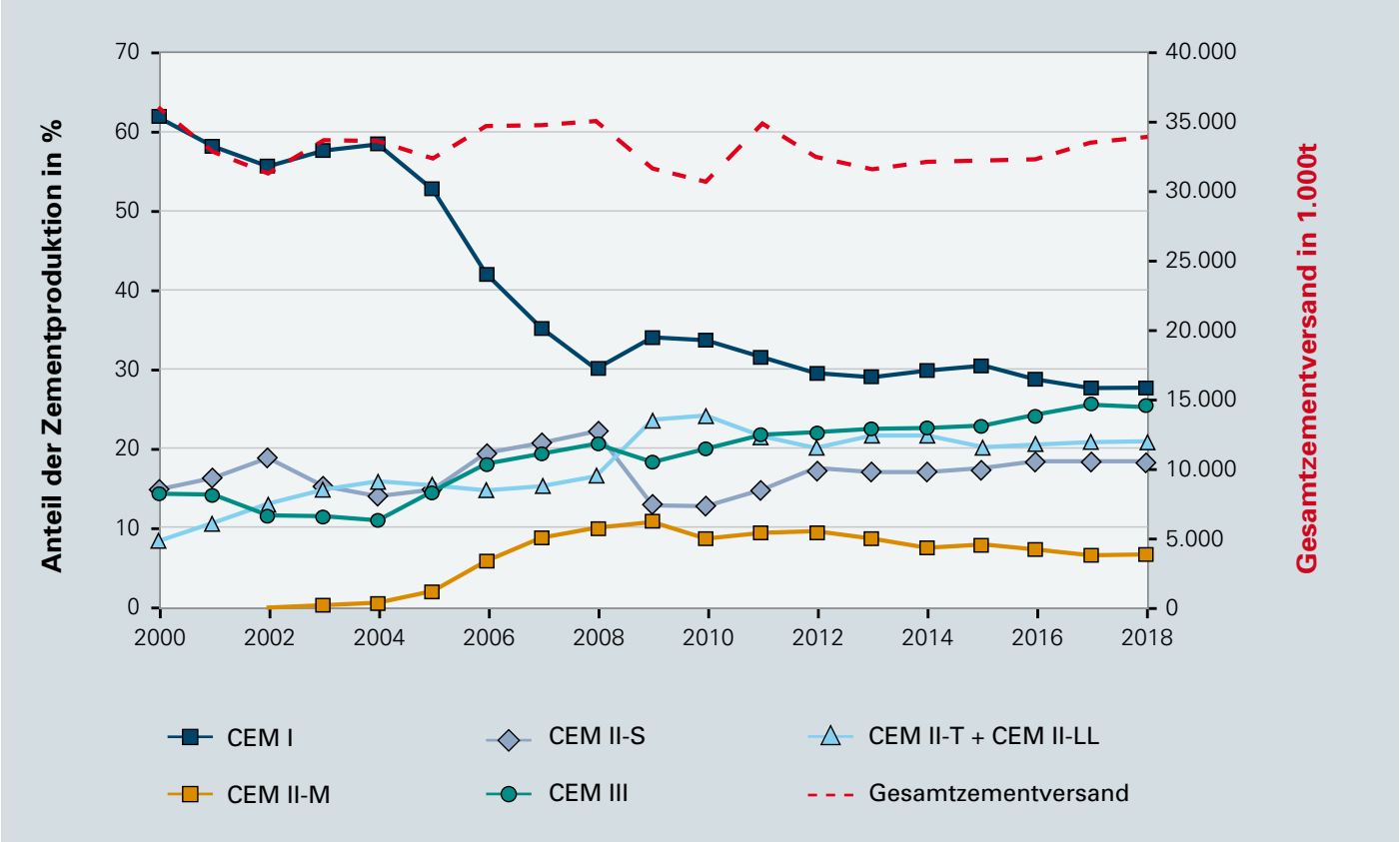
KLINKEREFFIZIENTE ZEMENTE – STATUS-QUO UND WEITERE ENTWICKLUNG

Entwicklung der Verwendung klinkereffizienter Zemente in Deutschland

Zu allen Zeiten wurden in Deutschland auf der Basis der regional verfügbaren Rohstoffe leistungsfähige Zemente für eine sichere Betonbauweise hergestellt. Auch 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 Hüttensand als Hauptbestandteil neben dem Portlandzementklinker werden seit mehr als einem Jahrhundert industriell hergestellt und verwendet. Heute werden Hochofenzemente CEM III/A in einigen Regionen als Regelzemente für die Herstellung von Transportbeton im Hoch- und Ingenieurbau verwendet.
Portlandkalksteinzemente CEM II/A-LL werden in Deutschland seit Beginn der 80er 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.

▶ Anwendung klinkereffizienter Zemente



↑ Bild 1: Zementinlandversand in Deutschland von 2000 bis 2018 Quelle: VDZ

Einige deutsche Zementhersteller haben in den vergangenen etwa 15 Jahren zudem Portlandkompositzemente CEM II/A-M und CEM II/B-M entwickelt und in den Markt eingeführt. Vor diesem Hintergrund hat sich der Anteil der Portlandzemente CEM I am Inlandversand kontinuierlich verringert und der Anteil der CEM II Zemente hat entsprechend zugenommen. Bild 1 zeigt die Entwicklung des Zementinlandversands in Deutschland seit dem Jahr 2000.

Die aktuellen Betonnormen DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 enthalten die Anwendungsregeln für Normzemente in Abhängigkeit von den Expositionsklassen. 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 Ausgabe der Betonnormen aus dem Jahr 2008 datiert ist, sind die Anwendungsbeschränkungen noch enthalten.
In diesen Fällen wurde und wird auch heute noch 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 01/2020) gibt es insgesamt 23 dieser Zulassungen:

- CEM II/B-M (S-LL): 15
- CEM II/B-M (V-LL): 4
- CEM II/B-M (T-LL): 2
- CEM II/B-LL: 1
- CEM II/B-P: 1

Damit dürfen neben Portlandzementen folgende Zementarten in allen Expositionsklassen verwendet werden:

- 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
- Portlandkalksteinzement CEM II/B-LL mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (Anwendungszulassung AZ)
- Portlandflugaschezemente CEM II/A-V und CEM II/B-V
- Portlandpuzzolanzement 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)]

Nach rund 15 Jahren der praktischen Anwendung der Zemente mit Anwendungszulassung in geschätzt mittlerweile rund 60 Mio. m³ Beton erschien es nunmehr angebracht, für einige der Zementarten eine Anwendungsregel für die DIN 1045-2 vorzuschlagen.

Ein entsprechender Vorschlag des VDZ wurde unter Berücksichtigung der Daten des DIBt aus den Zulassungsversuchen in den relevanten Gremien des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) und des Deutschen Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) beraten.

Im Ergebnis können CEM II/B-M (S-LL, V-LL, T-LL) mit einem maximalen Kalksteingehalt von 20 M.-% gemäß DIN 1045-2 voraussichtlich – das Normungsverfahren ist noch nicht abgeschlossen – mit Ausnahme von Bauteilen mit hoher Wassersättigung und Frost (XF3) sowie bei einer Beanspruchung durch Frost und Tausalze (XF2, XF4) in allen Expositionsklassen eingesetzt werden.
Die Anwendung in den letztgenannten Expositionsklassen ist möglich, wenn für einen Zement bereits eine Anwendungszulassung vorliegt, bzw. ein entsprechendes neues Zulassungsverfahren für diese Expositionsklassen erfolgreich durchlaufen wird.

Vor dem Hintergrund der bauordnungsrechtlichen Änderungen in Folge des EuGH-Urteils zur Bauprodukteverordnung (Rs. C-100/13) ändert sich der Zulassungsgegenstand von *Portlandkompositzement CEM II/B-M (S-LL)- AZ "XX"* zu *Beton mit Portlandkompositzement CEM II/B-M (S-LL) (az) "XX"*, wie zum Beispiel *Z -3.17-1856 für „Beton mit Portlandkompositzement CEM II/B-M (S-LL) (az) "Burglengenfeld" nach DIN EN 197-1*.

Die zukünftige normative Regelung wird bereits jetzt durch das DIBt umgesetzt.
Das bedeutet: In Anwendungszulassungen müssen für die Normzemente CEM II/B-M (S-LL, V-LL, T-LL) ohne Sondereigenschaften Dauerhaftigkeitsnachweise nur noch für die Anwendung in den Expositionsklassen XF2, XF3 und XF4 erbracht werden. Die Sondereigenschaften „niedriger wirksamer Alkaligehalt“ und „hoher Sulfatwiderstand“ sind bei Bedarf zusätzlich nachzuweisen.

[1)] Expositionsklasse XF4: CEM III/A der Festigkeitsklasse ≥ 42,5 N oder der Festigkeitsklasse 32,5 R mit bis zu 50 M.-% Hüttensand

[2)] CEM III/B darf in XF4 für die folgenden Anwendungsfälle verwendet werden:
a) Meerwasserbauteile: w/z ≤ 0,45; Mindestfestigkeitsklasse C35/45 und z ≥ 340 kg/m³
b) Räumerlaufbahnen w/z ≤ 0,35; Mindestfestigkeitsklasse C40/50 und z ≥ 360 kg/m³

Neue europäische Norm EN 197-5 für CEM II/C-M und CEM VI-Zemente

Bereits im Januar 2015 lag ein fertiger Entwurf der überarbeiteten „Zementnorm" EN 197-1 vor, in dem neue klinkereffiziente Zemente CEM II/C-M und CEM VI aufgenommen und geregelt wurden. Allerdings konnte die neue Ausgabe der Norm bis heute nicht veröffentlicht werden, da die Europäische Kommission das erforderliche „Standardisation request" (früher „Mandat") nicht freigibt und damit der Normungsprozess blockiert ist (s. Infobox rechts).

Ein Ausweg aus der beschriebenen Situation ist die Regelung der neuen Zemente (Tabelle 1) in einer völlig neuen europäischen Norm EN 197-5.
Sie entspricht in ihrem Aufbau und ihren Anforderungen der bewährten EN 197-1, wird aber nicht auf einem „Standardisation request" der Europäischen Kommission beruhen, sie ist also nicht harmonisiert. Deshalb sind die Regeln der Bauproduktenverordnung beispielsweise zu Leistungserklärungen und CE-Kennzeichnungen für CEM II/C und CEM VI nicht anwendbar. Stattdessen sollen diese Zemente in Deutschland mit dem Ü-Zeichen gekennzeichnet und entsprechend überwacht werden.

Was wie ein Rückschritt klingt, bietet tatsächlich in der aktuellen Situation die Möglichkeit einer zeitnahen praktischen Umsetzung. Vom technischen Inhalt ist die Norm so konzipiert, dass sie in allen EU-Mitgliedstaaten vergleichbar angewendet werden kann.

DER EUROPÄISCHE NORMUNGSPROZESS STOCKT

Mit der Bauprodukteverordnung verfolgt die Europäische Kommission das Ziel des Abbaus von Handelshemmnissen und damit des freien Warenverkehrs von Bauprodukten in Europa.
Sie erteilt sogenannte „Standardisation requests" (früher „Mandate") an die europäische Normenorganisation CEN, entsprechende europäische harmonisierte Normen zu erarbeiten, um einheitliche Regeln für Bauprodukte in Europa zu haben.
Die Zementnorm EN 197-1 war die erste europäische harmonisierte Norm für ein Bauprodukt überhaupt.
Die Europäische Kommission legt das europäische Bauproduktenrecht generell zunehmend formaljuristisch aus und veröffentlicht zurzeit keine europäischen harmonisierten Normen. Das bedeutet: Der Normungsprozess ist derzeit weitgehend blockiert. Eine Änderung dieses Zustands ist nicht in Sicht.

ANWENDUNG VON CEM II/C-M-ZEMENTEN

Zukünftig werden somit u. a. Zemente mit einem Mindestklinkerhalt von 50 % als CEM II/C-M genormt sein. Alle weiteren Hauptbestandteile können verwendet werden (s. Tabelle 1), wobei der Gehalt an Silicastaub auf 10 M.-% und der Gehalt an Kalkstein auf 20 M.-% begrenzt sind.

Der VDZ hat in einer Studie zu den Eigenschaften von Mörteln und Betonen unter Verwendung von CEM II/C-M (S-LL) Ergebnisse eigener Untersuchungen sowie Daten anderer Quellen ausgewertet und im Heft 10/2019 der Zeitschrift „beton" veröffentlicht [2].
Aus dieser Studie werden nachfolgend einige der Ergebnisse für CEM II/C-M (S-LL)-Zemente beispielhaft vorgestellt. Wo möglich, werden die Ergebnisse mit den in Deutschland üblichen Bewertungskriterien bzw. mit den Eigenschaften von Betonen mit Zementen verglichen, die langjährig in der Praxis verwendet werden. Dies sind z. B. Betone mit den Zementarten CEM I, CEM II/A LL, CEM II/B-S, CEM II/B-M (S-LL) oder CEM III/A.

Hauptarten	Bezeichnung der Produkte (Zementarten)		Zusammensetzung (Massenanteile in Prozent[a])										
			Hauptbestandteile										Nebenbestandteile
			Klinker	Hüttensand	Silicastaub	Puzzolan		Flugasche		Gebrannter Schiefer	Kalkstein		
						natürlich	natürlich getempert	kieselsäurereich	kalkreich				
	Zementname	Kurzzeichen	K	S	D[b]	P	Q	V	W	T	L[c]	LL[c]	
CEM II	Portlandkompositzement[d]	CEM II/C-M	50-64	‹---------- 36-50 ----------›									0-5
CEM VI	Kompositzement	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 Hauptbestandteile außer Klinker müssen durch die Bezeichnung des Zements angegeben werden.

↑ Tabelle 1: CEM II/C-M und CEM VI gemäß prEN 197-5

Frischbetoneigenschaften und Festigkeitsentwicklung

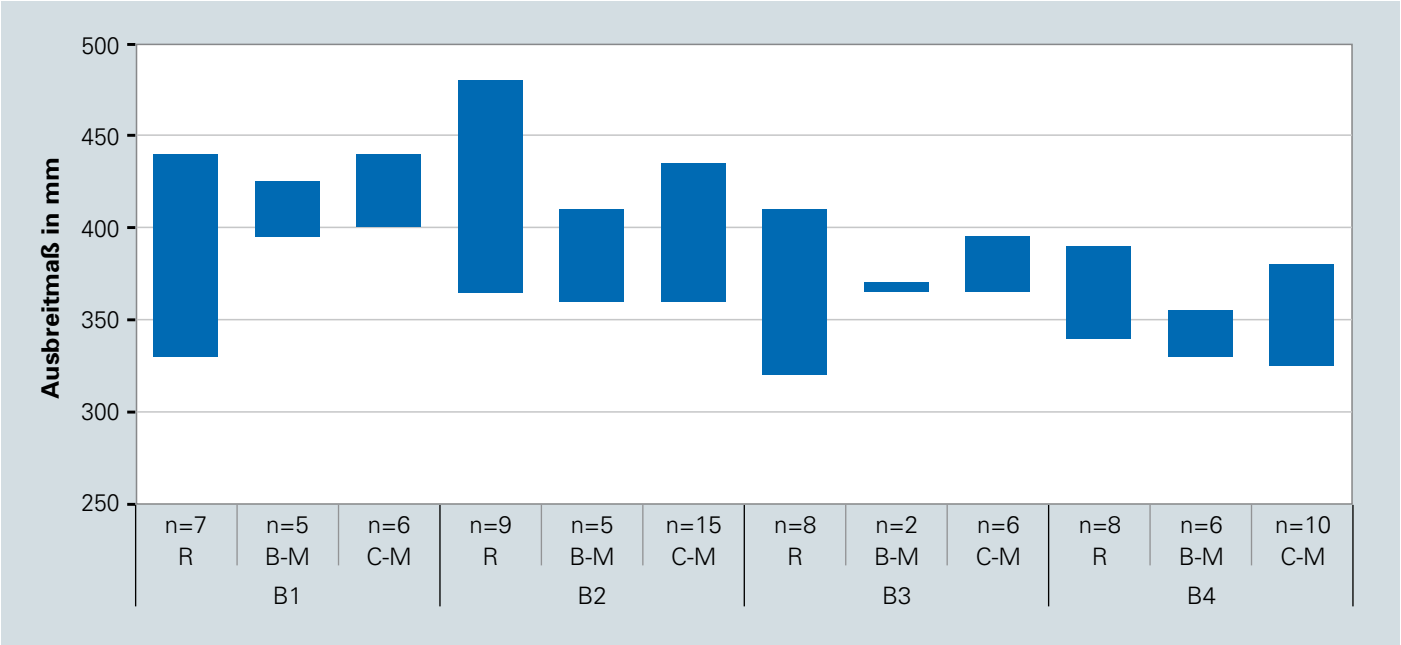
In den Untersuchungen, die in der Studie ausgewertet wurden, wurden vier Betonzusammensetzungen verwendet, die in Tabelle 2 angegeben sind. Die Betone B2, B3 und B4 entsprechen den Betonzusammensetzungen, wie sie in Zulassungsverfahren des DIBt verwendet werden.

Bild 2 zeigt die Bandbreite der Ausbreitmaße für Betone der Zusammensetzungen B1 bis B4. Alle untersuchten Betone wurden ohne Fließmittel oder Betonverflüssiger hergestellt.
Betone mit CEM II/C-M (S-LL)-Zementen zeigen Ausbreitmaße, die in der Größenordnung bzw. innerhalb der Bandbreite der Referenzbetone „R" aus den Forschungsvorhaben liegen.

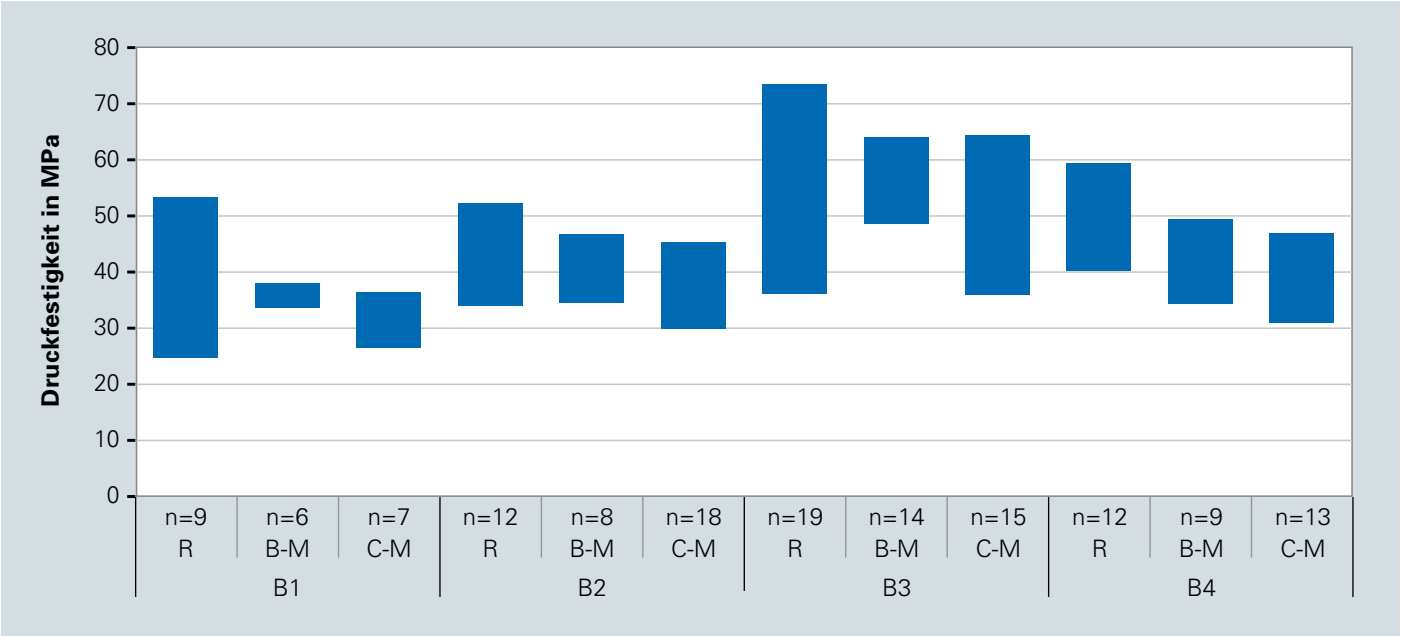
Das Erreichen baupraktisch relevanter Festigkeiten im Beton stellte ebenfalls keine Hürde dar. Bild 3 (auf der folgenden Seite) zeigt die Bandbreite der Druckfestigkeiten von Betonen im Alter von 28 Tagen mit Referenzzementen („R"), CEM II/B-M (S-LL) („B-M") und CEM II/C-M (S-LL) („C-M") für Betone der Zusammensetzungen B1 bis B4.

Beton	Zementgehalt [kg/m³]	Wasserzementwert	Frischbetonluftgehalt [%]
B1	260	0,65	–
B2	300	0,60	–
B3	320	0,50	–
B4	320	0,50	5,0 ± 0,5

↑ Tabelle 2: Betonzusammensetzungen



↑ Bild 2: Ausbreitmaße der Betone mit Referenzzementen („R"), CEM II/B-M (S-LL) („B-M") und CEM II/C-M (S-LL) („C-M")

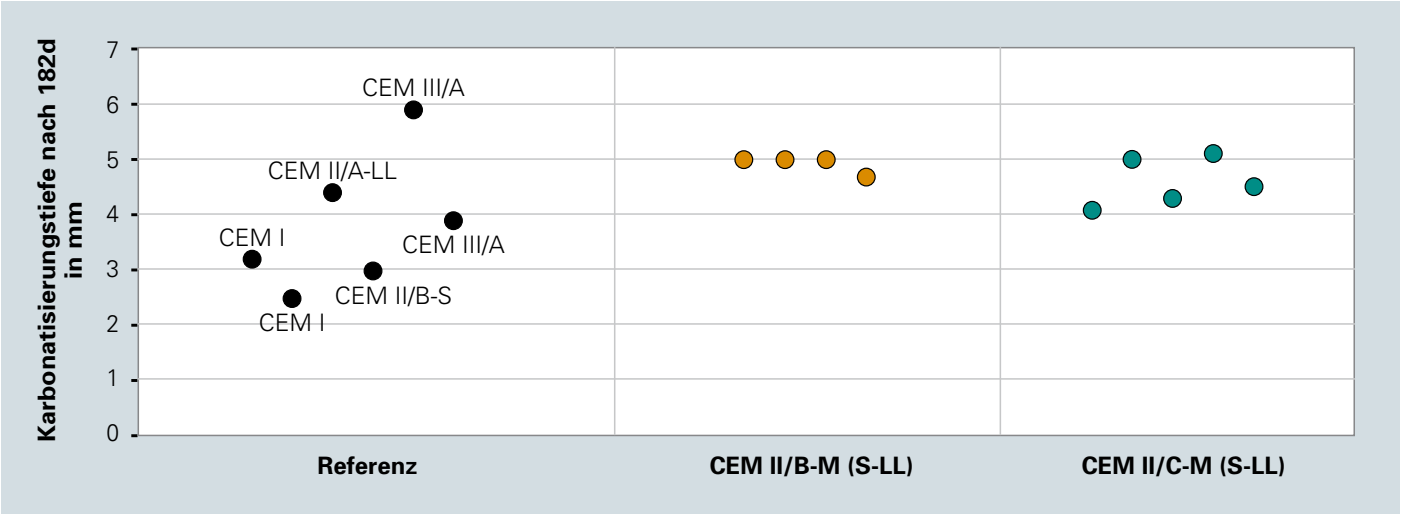


↑ Bild 3: Druckfestigkeiten von Betonen im Alter von 28 Tagen mit Referenzzementen („R"), CEM II/B-M (S-LL) („B-M") und CEM II/C-M (S-LL) („C-M")

Karbonatisierung

In Bild 4 sind die Karbonatisierungstiefen der Betone B1 – bestimmt gemäß DAfStb Heft 422 – mit einem Zementgehalt von 260 kg/m³ und einem Wasserzementwert w/z = 0,65 dargestellt. Für die Expositionsklasse XC3 müssen Betone in Deutschland diese Zusammensetzung aufweisen sowie die Anforderungen an die Festigkeitsklasse C20/25 einhalten.

Die Betone mit den Zementarten CEM II/B-M (S-LL) sowie CEM II/C-M (S-LL) ordnen sich zwischen einem Beton mit CEM I und einem Beton mit CEM III/A ein. Dies sind Betone, die nach DIN 1045-2 für die Expositionsklasse XC3 erlaubt und daher seit langem in der praktischen Anwendung sind.



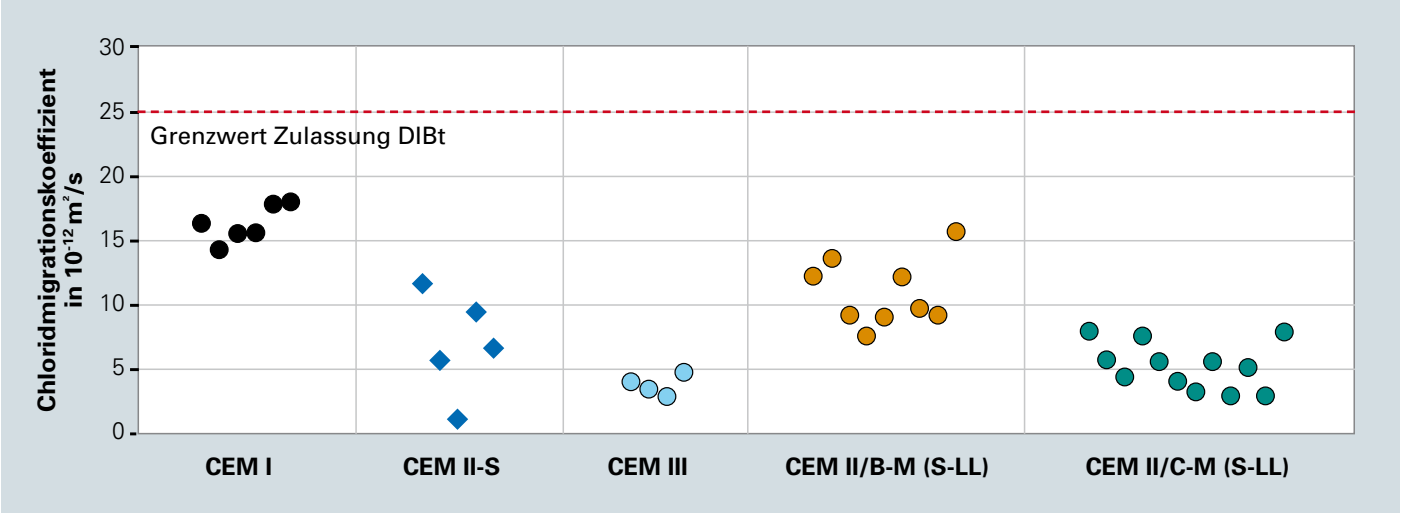
↑ Bild 4: Karbonatisierungstiefen von Betonen B1 mit einem Zementgehalt von 260 kg/m³ und einem Wasserzementwert von 0,65

Chlorideindringwiderstand

Für die Expositionsklassen XD2 und XS2 müssen Betone in Deutschland einen Mindestzementgehalt von 320 kg/m³ und einen Wasserzementwert von höchstens 0,50 aufweisen sowie die Anforderungen an die Festigkeitsklasse C35/45 einhalten.
Von Betonen dieser Zusammensetzung wurden die Chlorideindringwiderstände gemäß BAW-Merkblatt „MDCC" (Bundesanstalt für Wasserbau, 2017) bestimmt. Die Chloridmigrationskoeffizienten, gemessen im Alter von 28 Tagen, sind in Bild 5 dargestellt.

Alle untersuchten Betone halten das Kriterium für den Migrationskoeffizienten von 25 x 10^{-12} m^2/s ein, das in Deutschland für bauaufsichtliche Zulassungen u. a. von Zementen angewandt wird. Diese Grenze gilt im Allgemeinen für alle Bauteile des üblichen Hochbaus und vergleichbarer Anwendungen. Sie orientiert sich an den Regelungen der Betonnorm DIN 1045-1 in den Expositionsklassen XD und XS.

Im Wasserbau werden durch die BAW andere Grenzwerte angewendet. Für diese Ingenieurbauwerke werden – auch aufgrund der angestrebten langen Nutzungsdauer – strengere Maßstäbe angelegt.



↑ Bild 5: Chlorideindringwiderstand von Betonen B3 mit einem Zementgehalt von 320 kg/m³ und einem Wasserzementwert von 0,50

Frostwiderstand

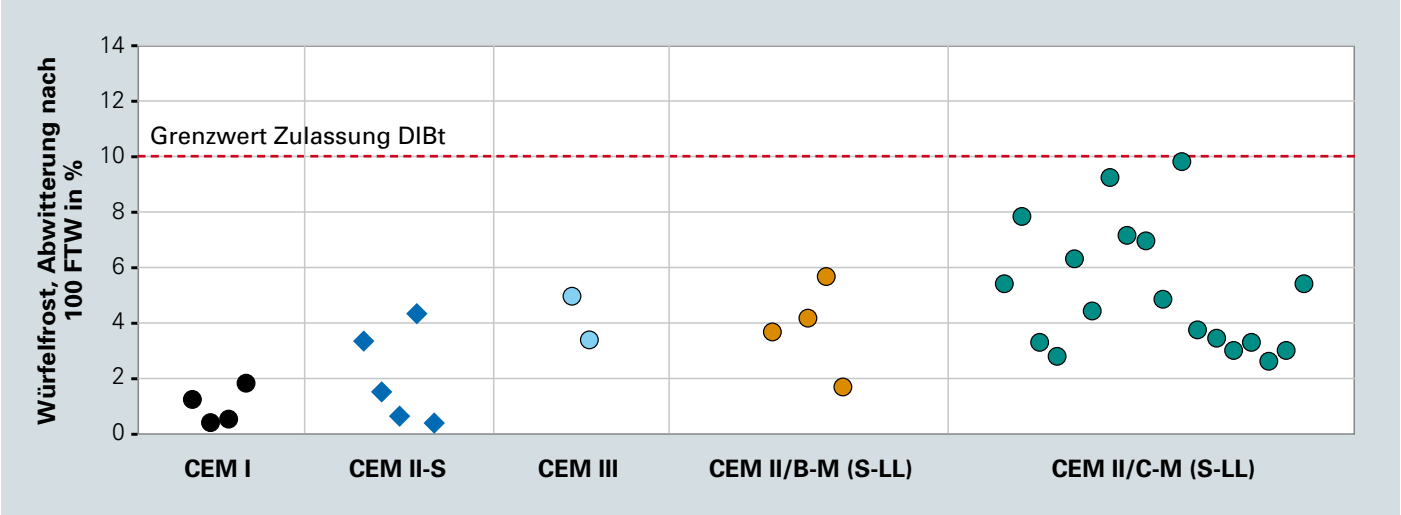
Für die Expositionsklasse XF1 müssen Betone in Deutschland einen Mindestzementgehalt von 280 kg/m³ und einen Wasserzementwert von höchstens 0,60 aufweisen. Die Anforderungen an die Festigkeitsklasse C25/30 sind einzuhalten. Für XF3 gilt ein höchstzulässiger Wasserzementwert von 0,50 bei einem Mindestzementgehalt von 320 kg/m³ sowie die Einhaltung der Festigkeitsklasse C35/45.

In Zulassungsuntersuchungen des DIBt für Zemente wird seit vielen Jahren die Verwendbarkeit für die Expositionsklasse XF3 an Betonen mit einem Mindestzementgehalt von 300 kg/m³ und einem Wasserzementwert von 0,60 im Würfelverfahren gemäß prEN 12390-9 überprüft.

Der Grenzwert beträgt 10 M.-% Abwitterung nach 100 Frost-Tauwechseln (FTW).

Bild 6 zeigt die Abwitterungen von Betonen dieser Zusammensetzung nach 100 FTW im Würfelverfahren. Die dargestellten Betone mit CEM II/B-M (S-LL)-Zementen und CEM II/C-M (S-LL)-Zementen halten das genannte Abnahmekriterium ein.
Bei den CEM II/C-M (S-LL) – Zementen liegen die Abwitterungen nach 100 Frost-Tauwechseln z. T. relativ nah am Grenzwert von 10 M.-%. Eine generelle Freigabe für die Expostionsklasse XF3 erscheint daher nicht angebracht.

Nach [3] sind Betone mit einer Abwitterung von maximal 10 M.-% nach 100 Frost-Tauwechseln im Würfelverfahren jedoch mindestens für die Verwendung in der Expositionsklasse XF1 geeignet. Daher wird in der Betonnorm eine Freigabe bis einschließlich XF1 erfolgen, während eine Freigabe für XF3 weiterhin einer Zulassung bedarf.



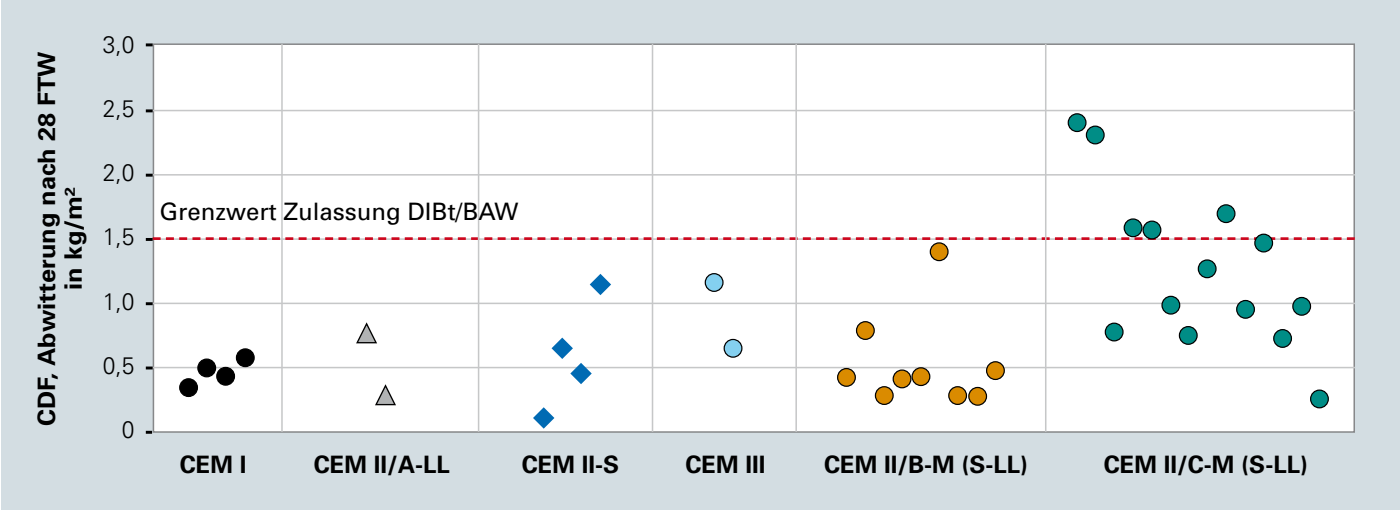
↑ Bild 6: Abwitterung von Betonen B2 mit einem Zementgehalt von 300 kg/m³ und einem Wasserzementwert von 0,60 im Würfelfrostverfahren

Frost-Tausalzwiderstand

Für die Expositionsklasse XF4 müssen Betone in Deutschland einen Mindestzementgehalt von 320 kg/m³, einen Wasserzementwert von höchstens 0,50 und einen größtkornabhängigen Gehalt an künstlichen Luftporen von mindestens 3,5 % bis 5,5 Vol.-% aufweisen. Die Druckfestigkeit muss die Anforderungen an die Druckfestigkeitsklasse C30/37 erfüllen.

In Zulassungsverfahren des DIBt wird das CDF-Verfahren in Kombination mit dem BAW-Grenzwert [4] verwendet: Die Abwitterung nach 28 FTW darf höchsten 1,5 kg/m² betragen.

Bild 7 zeigt die Abwitterungen nach 28 FTW. Betone mit CEM II/C-M (S-LL) liegen teilweise auch jenseits des Grenzwerts. Eine generelle Freigabe für die Expostionsklasse XF4 erscheint daher nicht ratsam.



↑ Bild 7: Abwitterung der Betone B4 mit einem Zementgehalt von 320 kg/m³, einem Wasserzementwert von 0,5 und einem Luftgehalt von 5,0 ± 0,5 Vol.-% im CDF-Verfahren

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Auf Basis der in diesem Beitrag beispielhaft vorgestellten Untersuchungsergebnisse hat der VDZ einen Vorschlag zu Anwendungsregeln für CEM II/C-M (S-LL)-Zemente in die Normungsgremien des Betonbaus einbracht.
Die Anwendungsmöglichkeiten wurden mit der Wissenschaft, der Bauaufsicht, öffentlichen Bauherren und der Bauindustrie diskutiert.
Im Ergebnis können CEM II/C-M (S-LL)-Zemente sowie CEM II/B-M (S-LL, V-LL, T-LL)-Zemente, zukünftig gemäß DIN 1045-2 voraussichtlich mit Ausnahme von Bauteilen mit hoher Wassersättigung und Frost (XF3) sowie bei einer Beanspruchung durch Frost und Tausalze (XF2, XF4) in allen Expositionsklassen eingesetzt werden.

Für etwa 30 Mio. m^3 Transportbeton jährlich – das ist in etwa das Transportbetonvolumen für Innen- und „normale" Außenbauteile des Hochbaus – bestünde damit die Möglichkeit, die leistungsbezogenen CO_2-Emissionen (kg CO_2/m^3 x MPa) um weitere 25 % zu senken. Hierfür stehen nach derzeitigen Prognosen in Deutschland insgesamt noch auf einige Jahre entsprechende Hüttensandmengen zur Verfügung.

Die zukünftige normative Regelung wird bereits jetzt durch das DIBt umgesetzt: In Zulassungen müssen für die Zemente CEM II/B-M (S-LL, V-LL, T-LL) und CEM II/C-M (S-LL) ohne Sondereigenschaften Dauerhaftigkeitsnachweise nur noch für die Verwendung in den Expositionsklassen XF2, XF3 und XF4 erbracht werden. Vor dem Hintergrund der bauordnungsrechtlichen Änderungen in Folge des EuGH-Urteils zur Bauproduktenverordnung (Rs. C-100/13) lautet der Zulassungsgegenstand „*Beton mit Portlandkompositzement CEM II/B-M (S-LL) (az) "XX"*.
Bis zum Vorliegen der Produktnorm EN 197-5 basiert die Zulassung für den Beton mit CEM II/C-M (S-LL) zudem auf einer Zulassung für den Zement CEM II/C-M (S-LL).

LITERATURVERZEICHNIS

[1] Nachhaltig Wirtschaften heißt auch die CO_2-Bilanz zu verbessern (P. Lukas, E. Lenz), *HC-E&I Newsletter Technik, Ausgabe 32, 2020*, S. 7-12

[2] Müller, Christoph; Palm, Sebastian; Hermerschmidt, Wibke: Dauerhaftigkeitseigenschaften von Betonen mit CEM II/B-LL und CEM II/C-M (S-LL) – Zementen. Zeitschrift beton 10/2019, S.362-371

[3] Siebel, Eberhard: Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand von Beton, Beton 42, Heft 9, 1992, S.496-501

[4] Frostprüfung von Beton. Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe 2012

Beton. Die beste Wahl.

Die vom Informationszentrum Beton veröffentlichte Broschüre und Webseite checkt die Fakten

© BetonBild

Modernes Bauen ist eine komplexe Aufgabe mit vielfältigen Anforderungen an Stabilität, Dauerhaftigkeit, Ökonomie und Ökologie. Wer baut, braucht daher einen Baustoff, dem er vertrauen kann. Das Vertrauen, das Beton auf der ganzen Welt entgegengebracht wird, hat gute Gründe. Das InformationsZentrum Beton hat deshalb Fakten, die für Beton als Baustoff sprechen, in einer Broschüre sowie auf der Webseite www.beton-die-beste-wahl.de zusammengestellt.

„Mir war es ein Anliegen, dass wir die Vorteile von Beton komprimiert und anschaulich zusammenfassen", erläutert Geschäftsführer Ulrich Nolting. „Denn es gibt einen gesellschaftlichen Bedarf für eine gebaute Umwelt, für die Beton als nachhaltiger Baustoff prädestiniert ist."

Dies wird anschaulich anhand von zahlreichen Fakten belegt. Zum Beispiel werden rund 25 Prozent der CO_2-Emissionen der Zementherstellung durch die Carbonatisierung von Beton und Mörtel im Laufe ihrer Lebensdauer gebunden. Ein Fakt, der bisher in der Berechnung von Klimabilanzen nicht berücksichtigt wurde. Ein Beispiel von vielen, die aufzeigen, wie groß das Potential von Beton als Baustoff der Zukunft ist. Auch die Vorteile gegenüber anderen Baustoffe wie zum Beispiel Stahl und Holz werden erläutert.

Die 44-seitige Broschüre kann kostenfrei im Betonshop unter *www.betonshop.de* bestellt werden.
Die Webseite „Beton. Die beste Wahl." erreichen Sie online unter *www.beton-die-beste-wahl.de*.

ANSPRECHPARTNER FÜR DIE MEDIEN:

Holger Kotzan
holger.kotzan@beton.org
Tel. 0211 28048-306
Mobil 0152 29965758

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

Bildnachweise: HeidelbergCement AG, Steffen Fuchs; Palazzo Italia, Mailand, Mario & Pietro Carrieri (S10); HTC Global R&D, Dr. Martina Dietermann (S. 8)

« 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