

SYMPOSIUM

22. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung
Karlsruher Institut für Technologie (KIT), 17. März 2026

Bauen mit Beton für morgen

Umsetzung von Innovationen in der Praxis



Ulrich Nolting, Frank Dehn, Maureen Denu (Hrsg.)

SYMPOSIUM

Bauen mit Beton für morgen –
Umsetzung von Innovationen in der Praxis

SYMPOSIUM

22. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung Karlsruher Institut für Technologie (KIT), 17. März 2026

Bauen mit Beton für morgen -
Umsetzung von Innovationen in der Praxis

Herausgegeben von
Ulrich Nolting, Frank Dehn, Maureen Denu

Mit Beiträgen von	
Gerhard Breitschaft	David Ov
Markus Brunner	Angelika Schießl-Pecka
Joachim Dengler	Hannah Schönettin
Frank Fingerloos	Petra Schröder
Torben Gädt	Susanne Urban
Uwe Kopf	Udo Wiens
Christoph Müller	

Veranstalter:
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Massivbau und Baustofftechnologie
76131 Karlsruhe

VDB – Verband Deutscher Betoningenieure e. V.
Regionalgruppen 8 und 10

InformationsZentrum Beton GmbH
Gerhard-Koch-Straße 2+4
73760 Ostfildern

Bildrechte Titelbildcollage:

Rechts: © stock.adobe.com-Estudio; Links oben: © stock.adobe.com-elxeneize;
Links mitte: © stock.adobe.com-Maj; Links unten: © stock.adobe.com-kanpisut

Hinweis der Herausgeber

Für den Inhalt namentlich gekennzeichnete Beiträge ist die jeweilige Autorin bzw. der jeweilige Autor verantwortlich.

Impressum

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
KIT Scientific Publishing
Straße am Forum 2
D-76131 Karlsruhe

KIT Scientific Publishing is a registered trademark
of Karlsruhe Institute of Technology.

Reprint using the book cover is not allowed.

www.bibliothek.kit.edu/ksp.php | E-Mail: info@ksp.kit.edu | Shop: www.ksp.kit.edu



*This document – excluding parts marked otherwise, the cover, pictures and graphs –
is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0):
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>*



*The cover page is licensed under a Creative Commons
Attribution-No Derivatives 4.0 International License (CC BY-ND 4.0):
<https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/deed.en>*

Print on Demand 2026 – Gedruckt auf FSC-zertifiziertem Papier

ISBN 978-3-7315-1468-8

DOI 10.5445/KSP/1000189864

Vorwort

In den vergangenen Symposien haben wir umfassend beleuchtet, wie die Zement- und Betonindustrie zur Reduzierung der weltweiten CO₂-Emissionen beitragen kann. Dabei wurden unterschiedliche Ansätze und Perspektiven aufgezeigt, die verdeutlichten, wie groß die Bandbreite an technologischen Innovationen und konzeptionellen Ideen ist. In diesem Jahr gehen wir einen Schritt weiter. Unter dem Titel „Bauen mit Beton für morgen – Umsetzungen von Innovationen in die Praxis“ rückt das Symposium die konkrete Anwendung und Realisierung dieser Ansätze ins Zentrum. Ein besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf den Auswirkungen des neuen Eurocodes 2 auf die statische und konstruktive Bemessung sowie auf der ERC-Richtlinie des DAfStb zur Dauerhaftigkeit und den zugehörigen Expositionsklassen. Anschließend werden anhand konkreter Ökobilanzierungen und Projekte Beispiele innovativer Bauweisen in der Praxis aufgezeigt. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf klinkerreduzierten Zementen – von den technischen Anforderungen über die Akzeptanz bis hin zur Kommunikation. Ergänzend zeigt ein Blick in die Schweiz, welche Impulse sich aus dortigen Entwicklungen ableiten lassen. Zudem werden die Kompatibilität von Betonzusatzmitteln, der Umgang von Bauherren mit innovativen Produkten im Ausland sowie die Dauer und Einflussfaktoren von Zulassungsverfahren behandelt.

Die Veranstalter

Inhalt

	Vorwort	I
Susanne Urban Frank Fingerloos	Bemessung und Konstruktion im Betonbau – Herausforderungen bei innovativen Baustoffen	1
Angelika Schießl-Pecka David Ov Udo Wiens	Dauerhaftes und CO ₂ -reduziertes Bauen durch die Anwendung der ERC-Richtlinie	13
Uwe Kopf	Beton ist grün – und die Sache mit dem Baustellenmarketing	23
Hannah Schönettin	Senkung der Klimawirkung im Betonbau – die U5 als Leuchtturm für klimaschonenden urbanen Verkehrsinfrastrukturbau	27
Christoph Müller	Klimafreundliche Zemente und Betone: Eigenschaften und Kennzeichnung	39
Torben Gädt Joachim Dengler	Kompatibilität von Betonzusatzmitteln mit klinkerarmen Bindemitteln – Praxisprobleme und Lösungsansätze	53
Markus Brunner	Normen und Standards: Die gemeinsame Sprache beim Bauen	63
Petra Schröder Gerhard Breitschaft	Wie ermöglichen Zulassungsverfahren die Verwendung innovativer Bauprodukte?	69
	Programm der Veranstaltung	83
	Autorenverzeichnis	85
	Übersicht über Tagungsbände vergangener Symposien	87

Bemessung und Konstruktion im Betonbau – Herausforderungen bei innovativen Baustoffen

Susanne Urban und Frank Fingerloos

Zusammenfassung

Am Beispiel der Struktur und Erarbeitung der 2. Generation des Eurocode 2 wird gezeigt, wie neue Themen und innovative Baustoffe in die Normung und somit auch in die breite Praxisanwendung gebracht werden. Mit Anhang N erfolgt die normative Einführung von Bemessungsregeln für Tragwerke aus Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung. Die DAfStb-Richtlinien zu den Themen „Verstärken mit geklebter Bewehrung“, „Stahlfaserbeton“, „Betonbauteile mit nichtmetallischer Bewehrung“ und „Erhaltung von Betonbauwerken“ werden die entsprechenden informativen Anhänge des DIN EN 1992-1-1/NA1:2025-08 und die europäisch vorgeschlagenen Bemessungs- und Konstruktionsregeln ersetzen. Auf diesem Weg können auch in Zukunft weitere innovative Vorgehensweisen und Baustoffe in die Regulatorik eingeführt werden.

Schlagwörter: Eurocode 2, Beton, DAfStb-Richtlinie, Bemessung, Innovation, rezyklierte Gesteinskörnung

Abstract

Using the example of the structure and development of the second generation of Eurocode 2, it is demonstrated how new topics and innovative construction materials are introduced into standardization and thus into widespread practical application. With Annex N, the normative introduction of design rules for concrete structures made with recycled aggregates is achieved. The DAfStb guidelines on “Strengthening with bonded reinforcement,” “Steel fibre reinforced concrete,” “Concrete members with non-metallic reinforcement,” and “Conservation of concrete structures” will replace the corresponding informative annexes to DIN EN 1992-1-1/NA1:2025-08 and the European proposed design and detailing rules. In this way, additional innovative approaches and construction materials can also be introduced into the regulatory framework in the future.

Keywords: Eurocode 2, concrete, DAfStb guideline, structural design, innovation, recycled aggregate

1 Einführung

Optimierter und wirtschaftlicher Einsatz von Material und Konstruktion ist das Ziel, das Ingenieure seit jeher umtreibt. Verstärkt wird dieser Ansatz aus heutiger Sicht durch die Ziele der Nachhaltigkeit und den effizienten Einsatz unserer Ressourcen (Material sowie auch Arbeitskraft). Aus diesem Grund werden die Themen *Nachhaltigkeit* und *Digitalisierung* die Zukunft des Bauens entscheidend prägen und sind dabei untrennbar miteinander verbunden. Eine gezielte Verbindung von Nachhaltigkeit und Digitalisierung im Bauwesen eröffnet erhebliche Potenziale: effizienterer Materialeinsatz, innovative Baustoffe, gesteigerte Produktivität und optimierte Arbeitsprozesse. Gleichzeitig ermöglicht sie der Bauindustrie, ihren Beitrag zur Nachhaltigkeit nachzuweisen und aktiv zu leisten. So wird nicht nur die Ermittlung von CO₂-Emissionen eines Projekts und verschiedener Tragwerksvarianten erleichtert, sondern auch deren Reduktion unterstützt. Im Kontext des zirkulären Bauens wird der ressourceneffiziente globale Einsatz von Rohstoffen und Materialien erst durch digitale Hilfsmittel möglich.

Abbildung 1 aus [1] zeigt die thematischen Schwerpunkte, aktuelle und geplante Aktivitäten des Deutschen Beton- und Bautechnik Vereins E. V. (DBV) in den Bereichen Nachhaltigkeit und Digitalisierung. Im Bereich Nachhaltigkeit liegt der Fokus des DBV auf der ökologischen Nachhaltigkeit im Bauwesen, wobei insbesondere die Themen Klimaschutz (CO₂-Reduktion), Kreislaufwirtschaft (Zirkuläres Bauen) und Anpassung an den Klimawandel (Klimaresilienz) behandelt werden. Die Digitalisierungsschwerpunkte zielen auf den Einsatz digitaler Werkzeuge zur Förderung der Nachhaltigkeit ab, die gleichzeitig die Produktivität steigern und dem Fachkräftemangel entgegenwirken. Dazu zählen prädiktive Qualitätssteuerung, digitale Fertigung, digitaler Produktpass, digitale Lieferketten und künstliche Intelligenz.

Bezüglich Nachhaltigkeit können wir schon viel bewirken, indem wir den aktuellen Eurocode (1. Generation) und den 2025 veröffentlichten Eurocode (2. Generation) optimierend anwenden. Die sogenannten Quick Wins (DBV-Heft 50, Band 2 [2]) und auch die Hilfestellungen zum Tragwerksentwurf für den Klimaschutz im DBV-Heft 50, Band 3 [3] können schon jetzt, hier und heute, als erste Schritte in die richtige Richtung umgesetzt werden.

Doch auch neue und innovative Vorgehensweisen und Baustoffe sind in der Praxis gesichert umzusetzen. Die finale Umsetzung der Maßnahmen im Bauprozess wird durch bauordnungsrechtliche Maßnahmen geregelt. Die Regulatorik setzt damit die Grundlagen zum Einsatz innovativer Baustoffe oder auch zur Realisierung der Nachhaltigkeitsziele im Bauwesen. Innovative Prozesse erfordern eine Standardisierung, um eine wirtschaftliche, sichere und breite Umsetzung in der Praxis möglich zu machen. In anderen Worten: Normen sind der Werkzeugkasten, der uns zur Verfügung steht, um Innovationen in die breite Praxis zu bringen. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass in den Eurocodes innovative Baustoffe und Bauarten eingeführt und deren Umsetzung / Anwendung normativ geregelt werden. Erst durch den „Input in die Regulatorik“, siehe Abbildung 1 rechts, wird eine breite Umsetzung in der Praxis möglich.

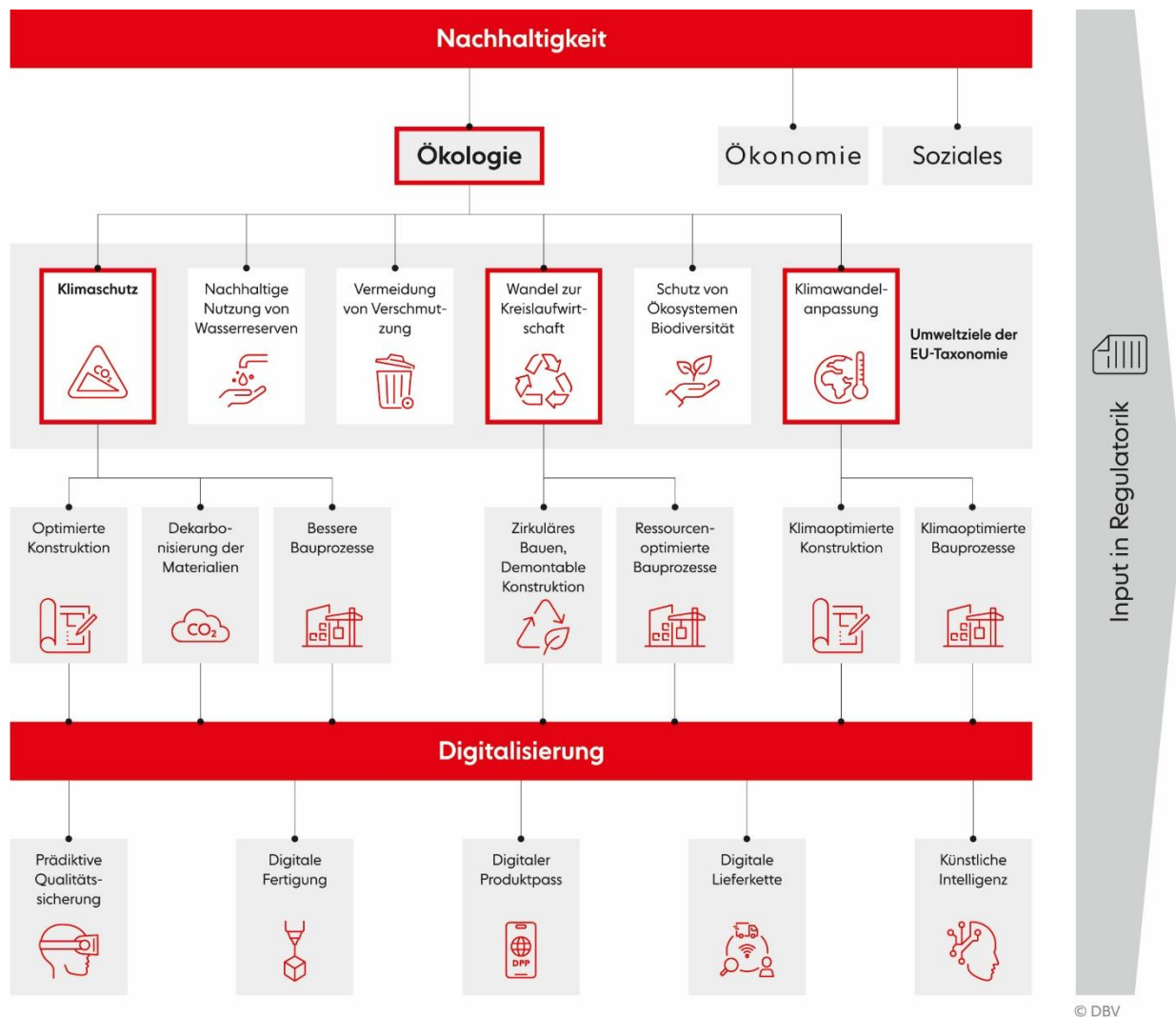


Abb. 1: DBV - Thematische Schwerpunkte und Verknüpfungen in und zwischen den Bereichen Nachhaltigkeit, Digitalisierung und Regulatorik

Basis der Bemessung und Konstruktion von Tragwerken sind maßgeblich die Eurocodes. Im Folgenden werden eine kurze zeitliche Abfolge und die Ziele beschrieben, die bei der Erarbeitung der 2. Generation der Eurocodes verfolgt wurden.

Seit 2013 arbeiten die 34 nationalen Normenorganisationen, die Vollmitglieder im europäischen Normungskomitee CEN sind (wie auch das deutsche DIN), auf Grundlage des Mandats M/515 der Europäischen Kommission für die „Änderung bestehender Eurocodes und die Erweiterung des Anwendungsbereichs der Eurocodes für das Bauwesen“ an der zukünftigen 2. Eurocode-Generation. Dabei wurden als wesentliche Ziele vorgegeben:

- anwenderfreundliche Modelle („Ease of Use“),
- einheitliche Modelle für neue Bauwerke und Bestandsbauwerke,
- Wirtschaftlichkeit,
- Aufnahme neuer Bauweisen und innovativer Werkstoffe und
- weitere Harmonisierung durch Reduktion der national festzulegenden Parameter (NDP).

Das Finale der zweiten Generation (2G) der Eurocodes in Deutschland hat mit den ersten DIN-Ausgaben in 2025 von 12 Eurocode-Teilen und 4 Nationalen Anhängen als Weißdrucke begonnen. Insgesamt sollen 11 Eurocodes (DIN EN ...) mit 74 Eurocode-Teilen und 75 Nationalen Anhängen (DIN EN .../ NA) bis Ende 2027 veröffentlicht werden.

Spätestens im März 2026 sollen alle neuen Eurocodes der zweiten Generation den nationalen Normenorganisationen vom CEN in englischer (sowie deutscher und französischer) Fassung zur Verfügung gestellt werden. Darauf baut die Vorgabe des CEN auf, dass alle Eurocodes der ersten Generation im März 2028 auch national zurückgezogen werden sollen (vgl. Abbildung 4). Ergänzt wird dieses Eurocode-Normenprogramm noch durch 6 CEN/TS (Technische Spezifikation) bzw. CEN/TR (Technischer Report) für Stahl- bzw. Verbundtragwerke. Die Eurocodes sollen jeweils paketweise zusammen mit den zugehörigen Entwürfen der Nationalen Anhänge beim DIN veröffentlicht werden (www.dinmedia.de).

2 Struktur des Eurocode 2

In der Abbildung 2 sind die bisherigen (1G) und die neuen (2G) Teile des Eurocode 2 gegenübergestellt. Der bisherige Teil 2 für die Betonbrücken und Teil 3 für die Silos und Behälter sind in den neuen Teil 1-1 integriert worden.

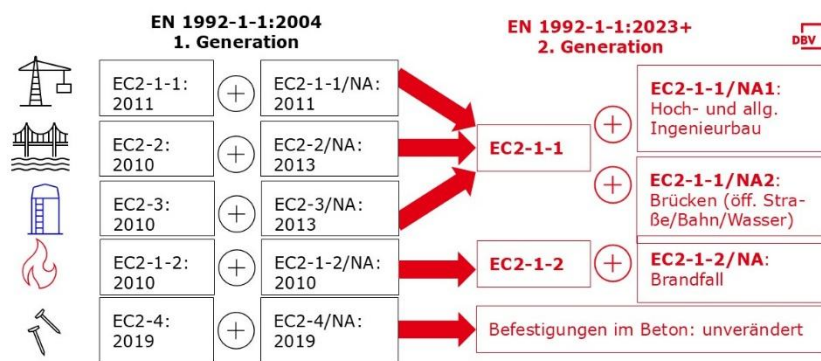


Abb. 2: Struktur der Eurocode 2-Teile der ersten (1G) und zweiten (2G) Generation

Abbildung 3 enthält die wesentlichen Normenkapitel im **Hauptteil** (250 Seiten) und die normativen bzw. informativen **Anhänge** (165 Seiten) des neuen DIN EN 1992-1-1 [4].



Legende:

 neue Themen in 2G normativer Anhang informativer Anhang

Abb. 3: Struktur Normenkapitel 0-14 und Anhänge A-S in DIN EN 1992-1-1 (2G)

Abbildung 4 zeigt die zeitliche Entwicklung der Eurocode 2-Generationen im Überblick.

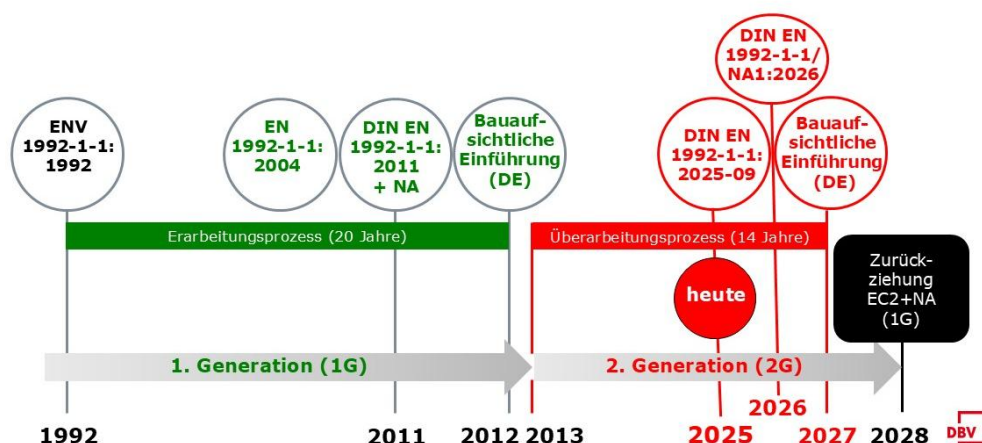


Abb. 4: Überblick zeitliche Entwicklung Eurocode 2, Teil 1-1 (1G und 2G)

Die beiden Teile des neuen Eurocode 2 für die Kalt- und Heißbemessung [4, 6] wurden schon 2025 in deutscher Fassung veröffentlicht, um im Paket mit den Entwürfen der Nationalen Anhänge [5, 7] das DIN-Einspruchsverfahren bis Ende 2025 zu durchlaufen. Die beiden Nationalen Anhänge werden in der ersten Jahreshälfte 2026 erscheinen. Somit wäre die bauaufsichtliche Einführung der Teile des neuen Eurocode 2 frühestens mit der Muster-Verwaltungsvorschrift MVV TB 2027/1 möglich. Tabelle 1 enthält die Veröffentlichungstermine für die neuen Teile des Eurocode 2 der zweiten Generation (2G).

Tab. 1: Übersicht über die DIN-Veröffentlichungstermine des Eurocode 2 (2G)

Norm	Titel	DIN-Ausgabe
DIN EN 1992-1-1	Teil 1-1: Allgemeine Regeln und Regeln für Hochbauten, Brücken und Ingenieurbauwerke	2025-09
DIN EN 1992-1-1/NA1	Teil 1-1: Nationaler Anhang für Hoch- und Ingenieurbauwerke	2025-08 (E), 2026
DIN EN 1992-1-1/NA2	Teil 1-1: Nationaler Anhang für Betonbrücken	2026 (E)
DIN EN 1992-1-2	Teil 1-2: Tragwerksbemessung für den Brandfall	2025-11
DIN EN 1992-1-2/NA		2025-11 (E), 2026
DIN EN 1992-4	Teil 4: Bemessung der Verankerung von Befestigungen in Beton	Überarbeitung begonnen
DIN EN 1992-4/NA		
Legende Ausgabedatum schwarz – bei www.dinmedia.de erschienen, (E) Gelbdruck-Entwurf, Weißdruck fett Ausgabedatum blau – geplantes Ausgabedatum		

Tabelle 2 zeigt die Veränderung der Seitenzahlen (Umfang) und der Anzahl der NDP zwischen den Normteilen der ersten (1G) und zweiten (2G) Generation.

Tab. 2: Veränderung der Seitenzahlen (Umfang) und der Anzahl der NDP zwischen den Normteilen der ersten (1G) und zweiten (2G) Generation

	1. Generation (1G 2010+)	2. Generation (2G 2025+)
Norm	DIN EN 1992-1-1/-2/-3	DIN EN 1992-1-1:2025
Seiten	369	325 ($\approx 90\%$) + 93 = 418
Anzahl NDP	164	80 ($\approx 50\%$) + 33 = 113
Nationaler Anhang	DIN EN 1992-1-1/-3/NA	E DIN EN 1992-1-1/NA1:2025
Seiten	106 (ohne Brücken)	81 + 19 = 100 (mit Brücken)
Anzahl NCI	346 (ohne Brücken)	145 ($\approx 40\%$) + 21 = 166 (ohne Brücken)
Norm	DIN EN 1992-1-2	DIN EN 1992-1-2:2025
Seiten	106	92 ($\approx 90\%$) + 4 = 96
Anzahl NDP	16	4 (25 %) + 2 = 6
Nationaler Anhang	DIN EN 1992-1-2/NA	E DIN EN 1992-1-2/NA:2025
Seiten	16	14 + 1 = 15
Anzahl NCI	8	5
rote Schrift: neue Themen in der 2. Generation 2025+		

3 Ersatz informativer Eurocode-Anhänge durch DAfStb-Richtlinien oder ergänzende normative Verweise

Nationale Festlegungen sind bei der Anwendung der informativen Anhänge gestattet. Der Status eines informativen Anhangs kann im Nationalen Anhang festgelegt werden. Dort kann er normativ übernommen, als informativ beibehalten, gestrichen oder ganz oder teilweise ersetzt werden kann. Das heißt, der Status eines informativen Anhangs kann in Deutschland wie folgt geregelt werden:

- Umwandlung zum normativen Anhang (vollständig oder in Teilen): gilt dann als nationale Anforderung,
- Beibehaltung als informativer Anhang (vollständig oder in Teilen oder mit eigenen nationalen Inhalten): darf national angewendet werden, muss es aber nicht,
- Ersatz durch einen ganz oder teilweise geänderten nationalen Anhang (oder eine Richtlinie) normativ oder informativ sowie
- Streichen des Anhangs: darf bzw. sollte national nicht angewendet werden.

In Tabelle 3 sind u. a. alle den neuen Eurocode 2 begleitenden DAfStb-Richtlinien dargestellt, die entweder informative Anhänge zu neuen Themen vollständig ersetzen oder Normenregeln und Anhänge ergänzen sollen. Die Erarbeitung bzw. Überarbeitung der genannten DAfStb-Richtlinien hat 2025 begonnen und soll spätestens 2027 abgeschlossen werden. Einige Richtlinienentwürfe befinden sich bereits im DAfStb-Einspruchsverfahren (z. B. DAfStb-Erhaltungsrichtlinie zur Bewertung von Bestandstragwerken bis Januar 2026).

Tab. 3: DAfStb-Richtlinien und ergänzende normative Verweise als Ersatz bzw. Ergänzung der Nationalen Anhänge DIN EN 1992-1/NA1 und DIN EN 1992-1-2/NA

Kaltbemessung	
DIN EN 1992-1-1 [1]	Anwendung nach E DIN EN 1992-1-1/NA1 [5]
Abschnitt 6: Dauerhaftigkeit und Betondeckung mit Anhang P (informativ)	Es gilt Anhang NA.P (normativ). Alternative: DAfStb-Richtlinie „Dauerhaftigkeit von Betonbauwerken nach dem System der Expositionswiderstandsklassen“ (ERC-Richtlinie)
Anhang A (informativ): Anpassung von Teilsicherheitsbeiwerten für Baustoffe	Anhang A wird gekürzt und normativ . Ergänzende theoretische Grundlagen in DAfStb-Richtlinie „Verfahren zur Herleitung von Sicherheitsbeiwerten im Massivbau unter Verwendung probabilistischer Methoden“
Anhang I (informativ): Bewertung von bestehenden Tragwerken	Anhang I wird ausgeschlossen . Stattdessen Verweis auf DAfStb-Richtlinie „Erhaltung von Bauwerken aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton“ (Erhaltungsrichtlinie)
Anhang J (informativ): Verstärkung von bestehenden Betontragwerken mit CFRP	Anhang J wird ausgeschlossen . Stattdessen Verweis auf DAfStb-Richtlinie „Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung“
Anhang L (informativ): Tragwerke aus Stahlfaserbeton	Anhang L wird ausgeschlossen . Stattdessen Verweis auf DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“
Anhang N (informativ): Tragwerke aus Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung	Anhang N wird gekürzt und normativ . Ergänzende Grundlagen in DIN 1045-2:2023-08 [8], 5.2.3.4 und Anhang E
Anhang R (informativ): Eingebettete FRP-Bewehrung	Anhang R wird ausgeschlossen . Stattdessen Verweis auf DAfStb-Richtlinie „Betonbauteile mit nichtmetallischer Bewehrung“
Heißbemessung	
DIN EN 1992-1-2 [6]	Anwendung nach E DIN EN 1992-1-2/NA [7]
Anhang B (informativ) Tragwerke aus Stahlfaserbeton	Anhang B wird ausgeschlossen . Stattdessen Verweis auf DAfStb-Richtlinie Stahlfaserbeton
Anhang C (informativ) Tragwerke aus Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung	Anhang C wird ausgeschlossen . Stattdessen ist Anhang NA.C (normativ) Tragwerke aus Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung (R-Beton) anzuwenden.
Anhang E (informativ) Tragende Wände – Ergänzende Tabellen	Anhang E wird normativ.

Ob und welche neuen DAfStb-Richtlinien bauaufsichtlich eingeführt werden, wird später von der Fachkommission Bautechnik der Bauministerkonferenz in jedem Einzelfall entschieden werden. In jedem Fall können sie als Grundlage für vorhabenbezogene Verwendbarkeits- oder Anwendbarkeitsnachweise (ZiE, vBg) herangezogen werden.

4 Allgemeine Bewertung der Überarbeitung von DIN EN 1992-1-1 (2G)

4.1 Positives

Gegenüber dem bisherigen DIN EN 1992-1-1 (1G) können aus deutscher Sicht beispielhaft folgende Erfolge bei der Umsetzung von „Ease of use“ genannt werden:

- Dauerhaftigkeit: Ermöglichung der Beibehaltung des einfacheren und bewährten deskriptiven Konzepts mit der Verknüpfung von Mindestbetondeckung, Betonzusammensetzung und Nachbehandlung über die Expositionsklassen mit NDPs (ohne die neuen Expositionswiderstandsklassen)
- Dauerhaftigkeit: Zusammenfassung aller Regeln zum Vorhaltemaß der Betondeckung in einer übersichtlichen NDP-Tabelle
- Grundsätzliche Definition der Spannungen und Normalkräfte gemäß den Regeln der Technischen Mechanik: Zug positiv und Druck negativ

- Biegung mit Längskraft: Durchgängige Erhöhung der Stauchungsgrenze des Betons auf 3,5 ‰ auch in der zentrisch belasteten Druckzone und für alle Betonfestigkeitsklassen, dadurch auch höhere Ausnutzung hochfester Betonstähle > B500 als Druckbewehrung möglich
- Querkraft, Schub in Fugen, Torsion, Durchstanzen: Durchgängige Umstellung der Nachweisgleichungen auf Schubspannungen τ in [MPa]
- Durchstanzen: Einheitliche Nachweisformate für Flachdecken, Fundamente und Bodenplatten im Bemessungsquerschnitt $b_{0,5}$ (im Abstand $0,5d_v$ von der Auflagerfläche) und b_0 (am Rand der Auflagerfläche)
- Durchstanzen: Vereinfachungen bei der Berücksichtigung der ungleichmäßigen Schubspannungsverteilung entlang des Bemessungsquerschnitts (β -Faktoren)
- Rissbreiten: Beibehaltung des bewährten deutschen Nachweiskonzepts für die Mindestbewehrung in einem separaten Anhang S ermöglicht
- Bewehrungsregeln: nachträglich eingemörtelte Betonstahlstäbe aufgenommen
- Konstruktionsregeln: Zusammenfassung aller bauteilbezogenen Konstruktionsregeln in übersichtlichen NDP-Tabellen für Balken, Platten, Stützen, Wände, wandartige Träger und Zuganker in Deckenscheiben
- Verschiebung noch nicht ausgereifter oder kontroverser Themen in informative Anhänge, die national umfassender angepasst werden können (siehe Tabelle 3)
- Integration des bisher separaten Eurocodeteils 2 zu den Betonbrücken in einem normativen Anhang K, der nur noch abweichende oder ergänzende Regeln zum Hauptteil enthalten soll
- Integration des bisher separaten Eurocodeteils 3 zu den Behältern in einem informativen Anhang H, der nur noch abweichende oder ergänzende Regeln zum Hauptteil enthalten soll
- Einführung von Bemessungsregeln für Tragwerke aus Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung (Anhang N)
- Nichtrostende Bewehrung aufgenommen (Anhang Q)

4.2 Negatives

Gegenüber dem bisherigen DIN EN 1992-1-1 (1G) müssen aus deutscher Sicht beispielhaft auch folgende wesentliche Misserfolge bei der Umsetzung von „Ease of use“ genannt werden:

- Dauerhaftigkeit: Die vollständige Umsetzung des leistungsorientierten Dauerhaftigkeitskonzepts mit differenzierten und versuchsgestützten Expositionswiderstandsklassen (ERC) ist nicht möglich gewesen. Gründe: zu viele offene modelltheoretische und betontechnologische Fragen. Kleiner Ausweg: Verweis auf zukünftige nationale DAfStb-ERC-Richtlinie
- Rechnerischer Nachweis der Rotationsfähigkeit für Momentenumlagerung: deutlich komplexeres und teilweise unwirtschaftlicheres Rechenmodell. Vereinfachte bisherige Regeln müssen zusätzlich über den NA1 ermöglicht werden
- Querkraft, Durchstanzen: Verwechselungsanfällige Einführung von zwei möglichen Werten für die statische Nutzhöhe: Nennwert d_{nom} (wie bisher) und Bemessungswert d_d (mit Abzug Vorhaltemaß Bauausführung)
- Querkraft, Durchstanzen: Verwechselungsanfällige bzw. praxisfremde Berücksichtigung des Größtkorndurchmessers der Gesteinskörnung in Nachweisgleichungen (vgl. hier Abschnitt 5.2),
- Querkraft: Aufnahme von zwei konkurrierenden Nachweiskonzepten bei Querkraft mit Normalkraft (Critical Shear Crack Theory mit Schubspannweite vs. additiven Normalkraftanteil)
- Rissbreitenbegrenzung: neues, komplizierteres und unwirtschaftlicheres Rissbreitenmodell (jedoch mit Einführung von NDP und informativem Anhang S wieder entschärft)
- Durchbiegungen: Vereinfachtes Nachweisformat über Biegeschlankheiten überarbeitet, aber zu weit auf der sicheren Seite liegend
- Neue Bauprodukte und Bauarten (Verstärkung von Betontragwerken mit CFRP, Tragwerke aus Stahlfaserbeton oder mit nichtmetallischer Bewehrung): Die Übernahme der informativen Anhänge war nicht möglich. Zu den Gründen siehe Abschnitt 5.5

5 Ausgewählte wesentliche Neuerungen und Umgang mit innovativen Baustoffen / Bauarten

5.1 Thematisierung der Nachhaltigkeit als Grundlage der Tragwerksplanung

Im Abschnitt 4 „Grundlagen der Tragwerksplanung“ des Nationalen Anhangs für Deutschland [5] wird der Unterabschnitt NA.4.6 „Nachhaltiges Bauen mit Beton“ hinzugefügt. Dieser Aspekt ist im europäischen Dokument nicht vorhanden, wird aber von dem zuständigen DIN-Arbeitsausschuss als wichtig empfunden und somit in den Nationalen Anhang aufgenommen. Es werden Beispiele für Maßnahmen gegeben, die zu ergreifen sind, wenn sich die an einem bestimmten Bauvorhaben beteiligten Parteien auf besondere Anforderungen hinsichtlich der Nachhaltigkeit festlegen. Weitere Erläuterungen werden in den Anmerkungen gegeben und sind im DAfStb-Erläuterungsheft 700 geplant. Wenn von den Parteien eine ökobilanzielle Nachweiseführung gegen Grenzwerte festgelegt wird, sollte die DAfStb-Richtlinie „Treibhausgasreduzierte Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Grundlagen der Nachweise am gesamten Tragwerk“ angewendet werden.

5.2 Berücksichtigung des Größtkorns der Gesteinskörnung für Querkraft- und Durchstanzttragfähigkeit

Es ist bekannt, dass das Größtkorn der Gesteinskörnung für den Traganteil der Schubrissverzahnung für die Querkraft- und Durchstanzttragfähigkeit von Bedeutung ist. Je größer die in einen Schubriss ragende Gesteinskörnung ist, umso größer ist der Traganteil der Schubrissreibung. Dieser Effekt wird im aktuellen Eurocode (1G) aus Vereinfachungsgründen vernachlässigt.

Im neuen DIN EN 1992-1-1 [4] wird der Effekt des Größtkorns über einen Größenparameter d_{dg} berücksichtigt. Der Einfluss des Größtkorns wurde über diverse Versuchsreihen u. a. von A. Muttoni im Zusammenhang mit der Entwicklung der sog. „Critical shear crack theory“ auch quantitativ nachgewiesen werden (siehe z. B. [9]). Da dieser Effekt in den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZT) auch tragsicherheitsrelevant ist (bis zu 30 % Unterschied in der Querkrafttragfähigkeit ohne Querkraftbewehrung), muss der Tragwerksplaner hierbei neu den unteren Grenzwert D_{lower} in der statischen Berechnung festlegen und auf den Ausführungsunterlagen (Bewehrungspläne) sowie für das Leistungsverzeichnis der Ausschreibungsunterlagen angeben. Das heißt für die Festlegung und Bestellung des Betons, dass der Betonhersteller den Wert D_{max} als D für die größte Gesteinskörnungsfraction im herzustellenden Beton im Intervall der Planervorgaben für den zulässigen unteren und oberen Grenzwert wählen muss: $D_{lower} \leq D_{max} \leq D_{upper}$ (vgl. DIN 1045-2:2023-08 [8], 5.2.3.1 (2)). Der obere Grenzwert D_{upper} kann im Rahmen der Festlegung der lichten Stababstände als Vorgabe des Tragwerksplaners relevant werden.

Mögliche Beispiele für Festlegungen der Grenzwerte des Größtkorns durch den Planer sind mit

- weitgehender betontechnischer Freiheit: $D_{lower}/D_{upper} = 8 \text{ mm} / 63 \text{ mm}$
→ D_{max} zwischen 8 mm und 63 mm frei wählbar oder
- minimaler betontechnischer Freiheit: $D_{lower}/D_{upper} = 16 \text{ mm} / 16 \text{ mm}$
→ einzige verbleibende Möglichkeit für eine Sieblinie mit $D_{max} = 16 \text{ mm}$.

Wegen der Limitierung von d_{dg} auf $\leq 40 \text{ mm}$ ist eine untere Begrenzung auf $D_{lower} > 24 \text{ mm}$ rechnerisch wirkungslos und kann daher bei Betonen $\leq C60/75$ unterbleiben. Als Formelbeispiel mit d_{dg} wird im Folgenden die Regelung gem. Eurocode 2 [4], Abschnitt 8.2.2 (2) für den Schubspannungswiderstand ohne Querkraftbewehrung τ_{Rdc} für eine Querkraftbeanspruchung τ_{Ed} gekürzt zusammengefasst:

Ansatz des Bemessungswerts des Schubwiderstands:

$$\tau_{Rdc} = \frac{0,66}{\gamma_v} \cdot \sqrt[3]{100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck} \cdot \frac{d_{dg}}{d}} \geq \tau_{Rdc,min} \text{ [MPa]} \quad (8.27)$$

- mit γ_v = der Teilsicherheitsbeiwert für die Querkraftbemessung ... (z. B. = 1,4);
 ρ_l = der Längsbewehrungsgrad...;
 f_{ck} = die charakteristische Betondruckfestigkeit...[MPa]
 d = die statische Nutzhöhe der Biegebewehrung...[mm]
 d_{dg} = **ein Größenparameter**, der die Rauheit in der Bruchzone beschreibt, die von der Betonsorte und deren Gesteinskörnungeigenschaften abhängt.
 d_{dg} [mm] darf angesetzt werden mit:
- 16 mm + $D_{lower} \leq 40$ mm bei Beton mit $f_{ck} \leq 60$ MPa;
 - 16 mm + $D_{lower} (60/f_{ck})^2 \leq 40$ mm bei Beton mit $f_{ck} > 60$ MPa.

ANMERKUNG 2

D_{lower} ist der kleinste zulässige Wert der oberen Siebgröße D in einer Gesteinskörnung für die größte Gesteinskörnungsfraction im Beton entsprechend der Festlegung von Beton nach EN 206. Falls D_{max} bekannt ist, kann D_{lower} durch D_{max} ersetzt werden. Die geeignete Wahl der Siebgröße (D) ist von den Abständen und der Dichte der Bewehrungen abhängig. Die Festlegung von D_{lower} über D nach EN 12620 kann zu verschiedenen Korngrößenverteilungen führen. In ähnlicher Weise legt EN 206 keinen Mindestgehalt an grober Gesteinskörnung fest. Das Modell wurde mit Versuchen kalibriert, die mit üblichen Korngrößenverteilungen durchgeführt wurden. Die Verwendung unüblicher Korngrößenverteilungen mit einem im Verhältnis zu D_{lower} niedrigen prozentualen Anteil größerer Korngrößen kann zu unterschiedlichem Verhalten führen. Das kann durch das Festlegen von Parametern für die Korngrößenverteilung in Ergänzung zu D_{lower} vermieden werden.

Wie im Abschnitt 3 und in der Tabelle 3 bereits erläutert, werden ausgewählte neue Themen im Eurocode 2 durch informative und normative Anhänge geregelt. Im Folgenden wird im Einzelnen auf ausgewählte Themen eingegangen.

5.3 Informative Regelung der Bewertung von bestehenden Tragwerken - Anhang I

Der europäische Vorschlag zur „Bewertung von bestehenden Tragwerken“ (Anhang I) wird vollständig durch die DAfStb-Richtlinie „Erhaltung von Tragwerken aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton“ (Erhaltungsrichtlinie) ersetzt. Sie ist gemeinsam mit der DIN EN 1992-1-1 anzuwenden. Bereits bei der Erstellung dieser Richtlinie wurde die Struktur der Eurocode 2 (2. Generation) berücksichtigt und übernommen. Sie stellt somit einen weiteren Schritt in der Regelung des zirkulären Bauens auf Gebäudeebene dar. Siehe hierzu auch Abbildung 5.

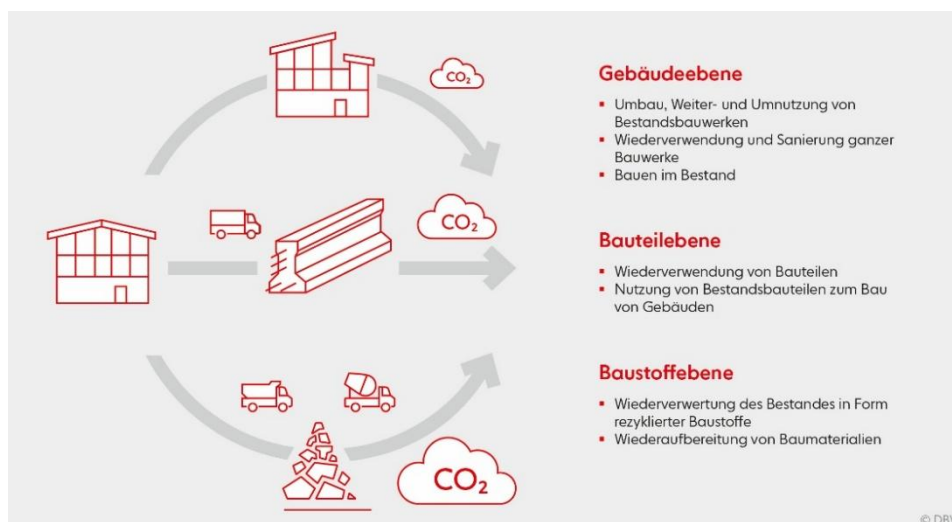


Abb. 5: Definition des zirkulären Bauens

5.4 Normative Regelung von Tragwerken aus Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung (R-Beton) – Anhang NA.N

Der europäische normative Vorschlag zur Regelung von „Tragwerke aus Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung“ (Anhang N) wird vollständig durch den Anhang NA.N des Nationalen Anhangs ersetzt. Dort ist geregelt, dass die maximal zulässigen Substitutionsraten von rezyklierter Gesteinskörnung (20 % bis 45 %) abhängig von den vorherrschenden Feuchtigkeits- und Expositionsklassen sind und in DIN 1045-2:2023-08, 5.2.3.4 und Anhang E angegeben werden. Es ist nun möglich, R-Beton unter gewissen Randbedingungen mit einer Substitutionsrate von 25 % bis zu einer Druckfestigkeitsklasse C50/60 zu verwenden. Grundlage für die maximal zulässige Substitutionsrate ist die Annahme, dass bei R-Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung vom Typ 1 und Typ 2 nach DIN 1045-2 [8] bis zu einer Substitutionsrate von 45 % keine Änderung der mechanischen Eigenschaften vorliegt. Somit können die Bemessungsmodelle im Eurocode 2 weiterhin angewendet werden. Überschreitet die Substitutionsrate den Grenzwert von 45 %, müssen für die Bemessung und die Dauerhaftigkeit angepasste Betoneigenschaften im Rahmen von Ver- und Anwendbarkeitsnachweisen nachgewiesen werden.

Betrachtet man den Brandfall von Tragwerken aus Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung so gelten bis zu einer Substitutionsrate von 25 % alle Regeln nach DIN EN 1992-1-2 mit DIN EN 1992-1-2/NA sowie nach DIN 4102-4. Bei höherer Substitutionsrate müssen die Betoneigenschaften im Brandfall durch Versuchsergebnisse ermittelt bzw. bestätigt werden.

Somit ist die Verwendung von Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung bis zum Schwellenwert der Substitutionsrate von 20 % ohne jegliche Einschränkung möglich. Diese normative Einführung von Bemessungsregeln für Tragwerke aus Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung im Eurocode 2 ist für die Regelung des zirkulären Bauens auf Baustoffebene wichtig. Siehe hierzu auch Abbildung 5.

5.5 Weitere Regelungen durch die informativen Anhänge J, L und R

Neue Themen des Eurocode 2, wie Verstärkung von bestehenden Betontragwerken mit CFRP – Anhang J, Tragwerke aus Stahlfaserbeton – Anhang L oder die Regelung von Betontragwerken aus nichtmetallischer Bewehrung – Anhang R, werden durch informative Anhänge eingeführt. Allerdings werden insbesondere bei diesen Themen die europäisch vorgeschlagenen Bemessungs- und Konstruktionsregeln nicht als ausreichend vollständig für die Anwendung erachtet, da europäische Bauprodukt- und Ausführungsregeln hierzu fehlen oder nur unvollständig vorliegen. Die mehrteiligen DAfStb-Richtlinien zu den oben genannten Themen regeln die neuen Bauarten so vollständig und konsistent (Bemessung, Bauprodukt, Ausführung), dass eine grundsätzliche Anwendung möglich ist. Aus diesem Grund werden die Anhänge J, L und R im europäischen Dokument ausgeschlossen und durch die entsprechenden DAfStb-Richtlinien ersetzt.

6 Literatur

- [1] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. (DBV) (2025): DBV-Rundschreiben Nr. 285, pp. 4-12, Berlin
- [2] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. (DBV) (2022) Nachhaltiges Bauen mit Beton - Band 2: Quick Wins für den Klimaschutz. DBV-Heft 50, Berlin
- [3] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. (DBV) (2024): Nachhaltiges Bauen mit Beton - Band 3: Deckensysteme - Tragwerksentwurf für den Klimaschutz. DBV-Heft 50, Berlin
- [4] Deutsches Institut für Normung (2025) DIN EN 1992-1-1:2025-09: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Regeln und Regeln für Hochbauten, Brücken und Ingenieurbauwerke; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2023. DIN Media-Verlag GmbH, Berlin
- [5] Deutsches Institut für Normung (2025) DIN EN 1992-1-1/NA1: Nationaler Anhang 1 zu DIN EN 1992-1-1:2025-08 - Eurocode 2 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Regeln und Regeln für Hochbauten, Brücken und Ingenieurbauwerke (Entwurf). DIN Media-Verlag GmbH, Berlin
- [6] Deutsches Institut für Normung (2025) DIN EN 1992-1-2:2025-11: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-2: Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsche Fassung EN 1992-1-2:2023. DIN Media-Verlag GmbH, Berlin
- [7] Deutsches Institut für Normung (2025) DIN EN 1992-1-2/NA:2025-11: Nationaler Anhang zu DIN EN 1992-1-2:2025-11 - Eurocode 2 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-2: Tragwerksbemessung für den Brandfall (Entwurf). DIN Media-Verlag GmbH, Berlin
- [8] Deutsches Institut für Normung (2023) DIN 1045-2:2023-08: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 2: Beton. DIN Media-Verlag GmbH, Berlin
- [9] Muttoni, A. (2003) Schubfestigkeit und Durchstanzen von Platten ohne Querkraftbewehrung. Beton- und Stahlbetonbau, Vol. 98, Heft 2, pp. 74-84

7 Autoren

Dr. Dipl.-Ing. Susanne Urban

Deutscher Beton- und Bautechnik Verein E.V.
Kurfürstenstraße 129
10785 Berlin
urban@betonverein.de

Prof. Dr.-Ing. Frank Fingerloos

Deutscher Beton- und Bautechnik Verein E.V.
Kurfürstenstraße 129
10785 Berlin
fingerloos@betonverein.de

Dauerhaftes und CO₂-reduziertes Bauen durch die Anwendung der ERC-Richtlinie

Angelika Schießl-Pecka, David Ov und Udo Wiens

Zusammenfassung

Die aktuelle Generation der Betonnormen, DIN EN 206 [1] und DIN 1045-2 [2], enthält zur Beschreibung der Leistungsfähigkeit des Baustoffs „Beton“ ein System aus deskriptiven Anforderungen (z. B. höchstzulässige Wasserzementwerte, Mindestzementgehalte etc.) und Klassen (z. B. Expositionsklassen, Konsistenzklassen, Mindestdruckfestigkeitsklassen usw.). Im neuen Eurocode 2 [3] werden sog. Expositionswiderstandsklassen (englisch ERC = Exposure Resistance Classes) eingeführt, mit deren Hilfe Bewertungskriterien für die dauerhaftigkeitsrelevanten Betoneigenschaften bezüglich einer karbonatisierungs- oder chloridinduzierten Bewehrungskorrosion auf Grundlage der Leistungsfähigkeit von Betonen zielgerichteter als bisher festgelegt werden können. Zur Umsetzung des Systems der Expositionswiderstandsklassen wird aktuell die DAfStb-Richtlinie „Dauerhaftigkeit von Betonbauwerken nach dem System der Expositionswiderstandsklassen (ERC-Richtlinie)“ [4] erarbeitet. Somit können in Deutschland künftig Betone durch entsprechende Performance-Prüfungen nach ihrer Leistungsfähigkeit in eine ERC eingeordnet bzw. klassifiziert werden. Durch Anwendung der ERC-Richtlinie können auch Treibhausgasemissionen bei der Herstellung von Beton maßgeblich reduziert werden.

Schlagwörter: Betonbauwerk, Dauerhaftigkeit, Expositionswiderstandsklassen (ERC), ERC-Richtlinie, Performance-Prüfung

Abstract

The current generation of concrete standards, DIN EN 206 [1] and DIN 1045-2 [2], contains a system of descriptive requirements (e.g., maximum permissible water-cement ratios, minimum cement contents, etc.) and classes (e.g., exposure classes, consistency classes, minimum compressive strength classes, etc.) to describe the performance of concretes. The new Eurocode 2 [3] introduces Exposure Resistance Classes (ERC), which help to define evaluation criteria for the durability-relevant concrete properties regarding carbonation- or chloride-induced reinforcement corrosion based on the performance of concretes more specifically than before. In order to implement the exposure resistant class system, the DAfStb guideline “Durability of concrete structures according to the exposure resistant class system (ERC guideline)” [4] is currently being developed. This means that in Germany, concretes can soon be classified into an ERC class based on their performance according to the relevant performance tests. The application of the ERC guideline can also significantly reduce greenhouse gas emissions in concrete production.

Keywords: Concrete structure, durability, Exposure Resistance Classes (ERC), ERC guideline, performance testing

1 Einführung

Beton ist der am häufigsten verwendete Baustoff im Hoch- und Verkehrswegebau. Im Jahr 2022 erzielte die deutsche Transportbetonindustrie mit einer Produktion in Höhe von 52,21 Millionen Kubikmeter Transportbeton einen Umsatz von 4,85 Milliarden Euro [5]. Das deutsche Produktionsvolumen für Transportbeton entsprach damit im Jahr 2022 dem zweitgrößten Markt für Transportbeton in Europa und dem größten innerhalb der Europäischen Union.

Mit Blick auf die Nachhaltigkeit unterliegt die Betonherstellung einem stetigen Wandel, in der neue Betonzusammensetzungen mit klinkerärmeren Bindemitteln immer mehr zur Anwendung kommen. So wurden in den letzten Jahren neue Zemente entwickelt, mit denen der Energieaufwand und die CO₂-Emissionen bei der Herstellung deutlich verringert werden können. Zudem führen der gesellschaftliche Anspruch und der Druck auf die Hersteller durch gesetzliche Vorgaben wie z. B. das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz dazu, dass Herstellprozesse vermehrt unter dem Aspekt der Ressourcenschonung optimiert werden. Auf der anderen Seite stellt sich in naher Zukunft die Frage, inwieweit Flugasche, die bereits seit mehreren Jahrzehnten erfolgreich im Betonbau eingesetzt wird und die CO₂-Bilanz von Beton verbessern kann, als Nebenprodukt aus der Kohleverstromung noch verfügbar sein wird.

Diese Umbrüche im Markt, die Frage nach der zukünftigen Verfügbarkeit von Rohstoffen zur Herstellung von Beton sowie die damit einhergehenden Zement- und Zusatzstoffneuentwicklungen stellen die Branche in den nächsten 10 Jahren vor große Herausforderungen. Betonrezepturen müssen dahingehend optimiert werden, dass sie nachhaltig, d. h. mit einem möglichst geringen „CO₂-Rucksack“ ausgestattet, und gleichzeitig dauerhaft sind, damit die Bauwerke über die geplante Nutzungsdauer den physikalischen (z. B. durch Frost) und chemischen (z. B. durch Tausalze und betonangreifende Stoffe) Einwirkungen ausreichend lange widerstehen. Hier stößt die bisherige deskriptive Vorgehensweise, die Dauerhaftigkeit von Beton mit einfachen Parametern der Betonzusammensetzung wie Zementart, Wassorzementwert, Mindestdruckfestigkeitsklasse oder Mindestzementgehalt zu beschreiben, an ihre Grenzen, da mit ökologisch optimierten Zementen keine langfristigen Erfahrungen vorliegen.

Alternativwege, bei denen die Leistungsfähigkeit von Beton über eine sogenannte Lebensdauerbemessung in Verbindung mit dem Performance-Prinzip erfasst wird, sind zwar für einige Bauwerkseinwirkungen bereits recht weit entwickelt [6], es fehlt aber an der Einordnung der Ergebnisse in den bisherigen, auf deskriptiven Anforderungen fußenden, praktischen Erfahrungsschatz. Darüber hinaus gibt es zu bereits existierenden Prüfverfahren noch Vorbehalte, da ihre Ergebnisse nicht immer mit den Praxiserfahrungen übereinstimmen. Performance-basierte Ansätze, mit denen neue (z. B. ressourcenschonendere) oder bereits vorhandene Betonrezepturen hinsichtlich ihrer Dauerhaftigkeit zielsicher beurteilt und optimiert werden können, sollen der Praxis nun durch das System der Expositionswiderstandsklassen an die Hand gegeben werden.

2 ERC-Richtlinie des DAfStb

2.1 Allgemeines

Das normative Konzept in DIN 1045-2 [2] und Eurocode 2 [3] zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit besteht

- einerseits aus der Klassifizierung der Umgebungsbedingungen über Expositionsklassen (Einwirkungsseite)
- und andererseits aus der Festlegung von Anforderungen an die Dicke (Mindestbetondeckung) und die Dichtheit (höchstzulässiger Wassorzementwert, Mindestzementgehalt, Mindestdruckfestigkeitsklasse, ausreichende Nachbehandlung) der Betondeckungsschicht (Widerstandsseite).

Mit der Einführung der ERC-Richtlinie [4] des DAfStb soll für Betontragwerke und Betonbauteile alternativ zu den deskriptiven Regelungen der Dauerhaftigkeit ein System der Expositionswiderstandsklassen mit leistungsbezogenen Nachweisen in Deutschland umgesetzt werden. Im ERC-System ergibt sich die erforderliche Mindestbetondeckung zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit aus der Kombination von Expositionsklasse und Expositionswiderstandsklasse. Somit ist die Mindestbetondeckung nicht mehr allein von der Expositionsklasse abhängig. Die Einordnung des Betons in eine entsprechende Expositionswiderstandsklasse erfolgt anhand der ermittelten Karbonatisierungsrate (XRC-Klassen) bzw. des Chlorideindringwiderstands (XRDS-Klassen), siehe Abschnitt 2.2.

Die Erarbeitung der ERC-Richtlinie erfolgte durch den Unterausschuss „Dauerhaftigkeit von Betonbaubauwerken“ des DAfStb. Gegenwärtig besteht die ERC-Richtlinie aus den folgenden fünf Teilen:

- Teil 0: Anwendungsbereich, normative Verweisungen, Begriffe und Definitionen
- Teil 1: Planung, Bemessung und Konstruktion
- Teil 2: Beton
- Teil 3: Bauausführung
- Teil 4: Betonfertigteile

Dabei werden folgende Aspekte berücksichtigt:

- Die ERC-Richtlinie des DAfStb greift das performance-basierte ERC-Konzept in einem ersten Schritt für die überwiegend im Hochbau vorkommenden Expositionsklassen XC1 bis XC4 und XD1/XS1 auf. Die im Hochbau ebenfalls relevante Expositionsklasse XF1 wird in den Kontext der ERC-Richtlinie mit eingebunden. Die Beschränkung auf die genannten Expositionsklassen führt in der Praxis überwiegend zu Betonen bis einschließlich der Druckfestigkeitsklasse C30/37. Dies entspricht ca. 80 % des Betonmarktes in Deutschland (siehe Tabelle 1).
- Alle Konsistenz- und Druckfestigkeitsklassen nach DIN 1045-2 [2] sind zulässig. Es wird der Nachweisweg über Performance-Prüfungen für XC2 bis XC4, XD1/XS1 und XF1 gewählt, um sinnvolle Kombinationen aus Dichtheit und Dicke der Betondeckung festzulegen.
- Zur Sicherstellung der Passivität der Bewehrung wird eine Mindestklinkermenge im Beton festgelegt (Alkalitätsreserve). Der Mindestklinkergehalt im Beton beträgt 70 kg Portlandzementklinker je m³ Beton.
- Wenn nicht durch die ERC-Richtlinie abweichend festgelegt, gelten Anwendungsbereich und Anforderungen der einschlägigen Normen der Reihe DIN 1045 (Neuausgabe 2023) [2] und DIN EN 1992-1-1 in Verbindung mit dem Nationalen Anhang [3].
- Durch Anwendung der ERC-Richtlinie sollen Treibhausgasemissionen bei der Herstellung und Verwendung von Beton reduziert werden (siehe Abschnitt 2.4).

Tab. 1: Anteil der Druckfestigkeitsklassen an der Gesamtbetonproduktion nach EN 206 [5]

Druckfestigkeitsklasse	2022	2023	2024
C8/10	0,7 %	0,6 %	0,8 %
C12/15	5,1 %	5,2 %	4,7 %
C16/20	1,7 %	1,7 %	1,9 %
C20/25	11,7 %	11,8 %	12,3 %
C25/30	39,8 %	39,8 %	38,4 %
C30/37	22,2 %	24,3 %	24,6 %
C35/45	13,0 %	12,5 %	12,4 %
C40/50	1,8 %	1,9 %	0,8 %
C45/55	0,5 %	0,4 %	0,5 %
C50/60	1,6 %	0,5 %	0,4 %
andere	1,9 %	1,2 %	3,4 %

2.2 Expositionswiderstandsklassen

Mit dem Ansatz der neuen ERC_Richtlinie des DAfStb werden – wie bisher auch – die bekannten Expositionsklassen zur Beschreibung der Einwirkungen aus der Umgebung übernommen (für karbonatisierungs- und chloridinduzierte Bewehrungskorrosion XC bzw. XD/XS). Die neuen Expositionswiderstandsklassen werden für die Umgebungsbedingungen festgelegt, bei denen Schäden an Betonbauteilen durch Bewehrungskorrosion infolge Karbonatisierung (XRC) oder durch Chloride (XRDS) entstehen können. Betonkorrosion durch Frostangriff (ohne Taumittel) wird durch die Expositionswiderstandsklasse XRF erfasst.

Die Zuordnung von Betonen zu Expositionswiderstandsklassen wird über die Anwendung entsprechender Prüfverfahren erreicht. Geeignete europäische Referenzverfahren sind z. B. in DIN EN 12390-10 [7] und DIN EN 12390-11 [8] enthalten. Nationale Prüfverfahren sind außerdem im BAW Merkblatt MDCC [9] beschrieben. Die Sicherstellung der Dauerhaftigkeit gegenüber Frosteinwirkung (XF1) kann über das deskriptive Konzept oder über eine Performance-Prüfung nach DIN CEN/TS 12390-9 [10] sichergestellt werden.

Die Höhe der Mindestbetondeckung wird in Abhängigkeit von der ERC, der Expositionsklasse, der Nutzungsdauer (50 oder 100 Jahre) sowie der Nachbehandlung festgelegt. Tabelle 2 bis Tabelle 5 enthalten die Klassengrenzen für Betone zur Einordnung in die Expositionswiderstandsklassen XRC und XRDS sowie die Mindestbetondeckungen $c_{\min, \text{dur}}$ für planmäßige Nutzungsdauern von 50 oder 100 Jahren, abhängig von der Nachbehandlungsklasse nach DIN 1045-3 [11]. Durch Anwendung des ERC-Konzepts können durch den Wegfall von Grenzwerten (Mindestzementgehalt, höchstzulässiger w/z-Wert) auch deutlich einfacher Anforderungen an die Nachhaltigkeit umgesetzt werden – zum Beispiel durch die Konzeption sehr klinkerarmer Betone.

Tab. 2: Expositionswiderstandsklassen für Karbonatisierung [4]

Expositionswiderstandsklassen	XRC 5	XRC 7	XRC 9	XRC 11
Bereiche der mittleren Karbonatisierungsgeschwindigkeit ^{a)} $k_{\text{NACm}, 140\text{Tage}} \text{ (mm}/\sqrt{\text{a}})$	$\leq 4,5$	$> 4,5 \text{ und } \leq 7,2$	$> 7,2 \text{ und } \leq 9,0$	$> 9,0 \text{ und } \leq 11,0$

^{a)} Ermittelt nach BAW Merkblatt MDCC, Anlage A [9].

Tab. 3: Mindestbetondeckung $c_{min,dur}$ für unlegierten Betonstahl nach DIN 488 – Karbonatisierung [4]

Expositionsklasse		Nachbe- handlungs- klasse	Expositionswiderstandsklasse							
			XRC 5		XRC 7		XRC 9		XRC 11	
			c _{min,dur} [mm] für geplante Nutzungsdauer [Jahre]							
			50	100	50	100	50	100	50	100
1	XC1	≥ 1	10							
2	XC2 XC3	2 ^{a)}	15	20	20	25	25	35	30	40
3		3	15 ^{b)}	20 ^{b)}	15	20	20	30	25	35
4		4	15 ^{b)}	15 ^{b)}	15 ^{b)}	15	15	25	20	30
5	XC4	2 ^{a)}	20	25	30	40	35	45	40	50
6		3	15	20	25	35	30	40	35	45
7		4	15 ^{b)}	15	20	30	25	35	30	40
^{a)} Nachbehandlungs-kategorie 2 bei gleichzeitigen Expositionsklassen XF, XA oder XM nicht zulässig (mindestens Nachbe- handlungs-kategorie 3 erforderlich).										
^{b)} Bei Betonfertigteilen ist eine Reduktion um 5 mm zulässig.										

Tab. 4: Expositionswiderstandsklassen für Chlorideinwirkung [4]

Expositionswiderstandsklassen	XRDS 7	XRDS 14	XRDS 25
Bereiche des mittleren Migrationskoeffizienten ^{a)} $D_{RCMm,28Tage} \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	$\leq 7,3$	$> 7,3 \text{ und } \leq 14,4$	$> 14,4 \text{ und } \leq 25,0$

^{a)} Ermittelt nach BAW Merkblatt MDCC, Anlage B [9].

Tab. 5: Mindestbetondeckung $c_{min,dur}$ für unlegierten Betonstahl nach DIN 488 – Chloride [4]

Expositions- klasse		Nachbe- handlungs- klasse	Expositionswiderstandsklasse					
			XRDS 7		XRDS 14		XRDS 25	
			c _{min,dur} [mm] für geplante Nutzungsdauer [Jahre]					
			50	100	50	100	50	100
1	XD1 XS1	2 ^{a)}	25	30	35	45	45	55
2		3	20	25	30	40	40	50
3		4	15	20	25	35	35	45

^{a)} Nachbehandlungs-kategorie 2 bei gleichzeitigen Expositionsklassen XF, XA oder XM nicht zulässig (mindestens Nach-
behandlungs-kategorie 3 erforderlich).

Im Gegensatz zu den Regelungen des Eurocode 2 [3] werden in der ERC-Richtlinie die ERC-Widerstandsklassen auf eine überschaubare, praxisrelevante Anzahl reduziert. Außerdem wird die Höhe der Mindestbetondeckungen neben der ERC, Expositionskategorie und Nutzungsdauer auch noch in Abhängigkeit von der Nachbehandelungskategorie nach DIN 1045-3 [11] bestimmt.

Als Beispiel weist bei gleicher Nachbehandelungskategorie ein XRC 5-Beton mit einer nachgewiesenen Karbonatisierungsgeschwindigkeit $\leq 4,5 \text{ mm}/\sqrt{a}$ gegenüber einem XRC 9-Beton einen höheren Karbonatisierungswiderstand mit entsprechend geringerer resultierender Mindestbetondeckung auf. Das gleiche Prinzip gilt analog auch für XRDS-Betone.

Der Nachweis der jeweiligen Expositionswiderstandsklasse ist im Zuge der Erstprüfung durch die Ermittlung der Karbonatisierungsrate bzw. des Chloridmigrationskoeffizienten nach BAW Merkblatt MDCC [9] zu führen. Die Einstufung der Betone ist durch eine jährliche Wiederholungsprüfung zu bestätigen. Für die Wiederholungsprüfung lässt sich alternativ auch die beschleunigte Prüfung des Karbonatisierungswiderstandes nach DIN EN 12390-12 [12] bei einer CO₂-Konzentration von 3 Vol.-% ermöglicht werden, wenn in der Erstprüfung eine entsprechende Korrelation zwischen den Verfahren bestimmt wurde.

2.3 Weiterentwicklung der ERC-Richtlinie

Zur Weiterentwicklung der ERC-Richtlinie müssen die darin enthaltenen Lücken für die Expositionsklassen XD2/XS2 und XD3/XS3 geschlossen werden. In diesem Zusammenhang wurde das IGF-Verbundforschungsvorhaben „Dauerhaftigkeit von Beton nach dem Performance-Prinzip“, bestehend aus fünf Teilprojekten im Mai 2021, initiiert. Das Vorhaben konnte im Frühjahr 2024 abgeschlossen werden. Die Ergebnisse des Verbundforschungsvorhabens sind in der Schriftenreihe [13, 14, 15, 16, 17] des DAfStb veröffentlicht und werden als Grundlage für die Erweiterung der ERC-Richtlinie verwendet.

2.4 Studie zur Ermittlung des CO₂-Reduktionspotenzials durch das ERC-Konzept

Das ERC-System basiert auf der direkten Prüfung des Materialwiderstands und verzichtet damit auf die im bisherigen Dauerhaftigkeitskonzept geforderten Grenzwerte für die Betonzusammensetzung. Dadurch ergibt sich eine erhöhte Flexibilität bei der Festlegung von Betonzusammensetzungen. Insbesondere der Verzicht auf Mindestzementgehalte eröffnet ein relevantes Potenzial zur Reduzierung der CO₂-Emissionen bei der Betonherstellung. Zusätzlich ermöglicht die für bestimmte Kombinationen aus Expositionsklassen und Expositionswiderstandsklasse reduzierte Mindestbetondeckung eine schlankere Bauteilausbildung und damit eine ressourceneffizientere Konstruktion.

Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen einer CO₂-Studie von Hermerschmidt [18] untersucht, inwieweit durch die Anwendung der ERC-Richtlinie ein CO₂-Reduktionspotenzial entsteht. Hierzu wurde zunächst geprüft, ob in der Praxis eingesetzte Betone den Anforderungen des ERC-Systems genügen. Im Rahmen der Auswertung wurden die untersuchten Betone den Expositionswiderstandsklassen des ERC-Systems zugeordnet. Die Analyse basierte auf Versuchsdaten zum Karbonatisierungsverhalten von Betonen mit unterschiedlichen Zusammensetzungen, die aus verschiedenen Datenbanken zusammengeführt wurden. Insgesamt standen für 373 Betone verwertbare Ergebnisse zur Karbonatisierung zur Verfügung, auf deren Grundlage die Klassifizierung in XRC-Klassen erfolgte [18].

Die Karbonatisierungsraten der analysierten Betone sind in Abbildung 1 in Abhängigkeit vom Wasserzementwert dargestellt. Zusätzlich sind die Grenzwerte der einzelnen XRC-Klassen angegeben, wobei diese Grenzwerte aufgrund eines unterschiedlichen Bearbeitungsstatus geringfügig von der ERC-Richtlinie abweichen. Alle untersuchten Betone lagen innerhalb der definierten Klassenbereiche, sodass eine eindeutige Zuordnung zu den XRC-Klassen möglich ist.

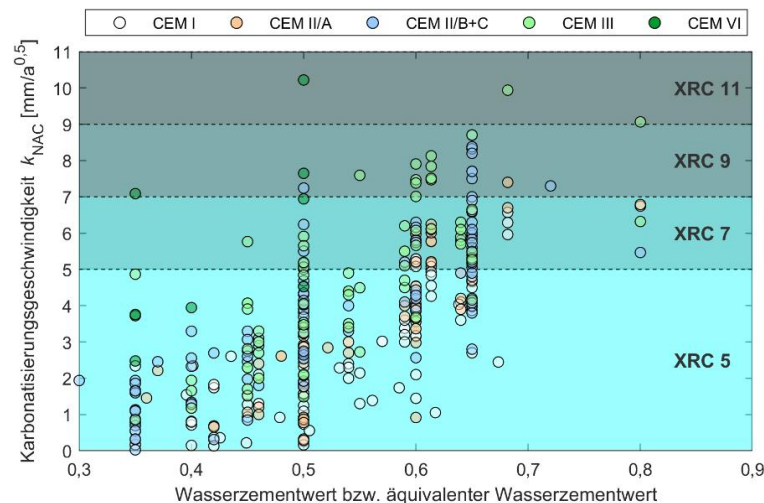


Abb. 1: Karbonatisierungsgeschwindigkeit der analysierten Betone in Abhängigkeit des (äquivalenten) Wasserzementwerts [18]

Abbildung 1 zeigt, dass die Klasse XRC 5 mit nahezu allen betrachteten Zementarten erreicht werden kann und häufig den größten Anteil ausmacht. Ausnahmen bilden die Zemente CEM II/C-M (S-V) und CEM II/C-M (V-LL), zu denen aber auch nur wenige Einzelergebnisse vorliegen. Bei den flugaschehaltigen Betonen mit CEM II/A-S, CEM III/A und CEM III/B fallen keine Betone in XRC 5, es liegen aber Ergebnisse für diese Zemente ohne Flugasche zu XRC 5 vor. Die Klasse XRC 7 ist nach XRC 5 am zweithäufigsten vertreten. In die Klasse XRC 9 fällt nur ein kleiner Anteil der analysierten Betone. Hierbei handelt es sich überwiegend um Betone mit klinkereffizienten Zementen (CEM II/B, CEM II/C, CEM III und CEM VI). Die Klasse XRC 11 tritt nur vereinzelt auf und beinhaltet Betone mit CEM III/A in Kombination mit Flugasche, CEM III/B und CEM VI. Insgesamt zeigt sich, dass Betone mit klinkerreichen Zementen überwiegend der Klasse XRC 5 zugeordnet werden, während Betone mit klinkereffizienten Zementen häufiger in die Klasse XRC 7 sowie vereinzelt in die Klassen XRC 9 und XRC 11 fallen. Insbesondere durch die bindemittelspezifische Erfassung der Leistungsfähigkeit des Betons können Reduktionspotenziale bezüglich der Emission von Treibhausgasemissionen gehoben werden. Die Vorgabe der Materialwiderstände in Form einer maximalen Karbonatisierungsgeschwindigkeit oder eines maximalen Chloridmigrationskoeffizienten wirkt sich jedoch indirekt auf die Betonzusammensetzung aus. Die Karbonatisierungsrate wird maßgebend durch den Wasserzementwert und den Klinkeranteil des Zements beeinflusst. Dies hat zur Folge, dass die Wasserzementwerte für eine bestimmte XRC-Klasse mit sinkendem Klinkeranteil des Zements geringer werden. Zur Aufrechterhaltung eines Mindestleimvolumens für die Verarbeitbarkeit steigt der Zementgehalt in der Regel mit sinkendem Wasserzementwert an. Es stellt sich somit die Frage, inwieweit der Zement- bzw. Klinkergehalt tatsächlich gegenüber den Grenzwerten des bisherigen Dauerhaftigkeitskonzepts gesenkt werden kann. Weitere Erkenntnisse der Studie können aus dem grünen Heft 666 [18] des DAfStb entnommen werden.

Die Untersuchungen von Hermerschmidt [18] zeigen letztendlich, dass das ERC-System neue Möglichkeiten zur Optimierung der Betonzusammensetzung und Bauteildimensionierung eröffnet. Durch die flexiblere Rezepturgestaltung lassen sich die Zement- und Klinkergehalte in vielen Fällen reduzieren, wodurch CO₂-Einsparungen möglich sind. Gleichzeitig kann die in vielen Fällen geringere Mindestbetondeckung zur Ressourcenschonung und CO₂-Minderung beitragen. Die Studie verdeutlichte jedoch auch, dass die optimale Lösung von mehreren Faktoren abhängt, darunter die Expositionsklasse, die Bauteildicke und die Leistungsfähigkeit des eingesetzten Zements in Bezug auf Karbonatisierung. Die Wahl der ökologisch sinnvollsten Strategie erfordert daher eine enge Abstimmung zwischen Planern, Betontechnologen und Ausführenden. Nur durch eine ganzheitliche Betrachtung der Rahmenbedingungen lassen sich die Potenziale des ERC-Systems bestmöglich ausschöpfen.

3 Literatur

- [1] Deutsches Institut für Normung (2021) DIN EN 206:2021-06: Beton – Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Deutsche Fassung EN 206:2013+A2:2021. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [2] Deutsches Institut für Normung (2023) DIN 1045-2:2023-08: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [3] Deutsches Institut für Normung (2025) DIN EN 1992-1-1:2025-09: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Regeln und Regeln für Hochbauten, Brücken und Ingenieurbauwerke; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2023. DIN Media GmbH, Berlin
- [4] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) (2023) Dauerhaftigkeit von Betonbauwerken nach dem System der Expositionswiderstandsklassen (ERC-Richtlinie). DAfStb-Richtlinie, DIN Media GmbH, Berlin (im Gelbdruckverfahren)
- [5] Wirtschaftsdaten vom Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie e.V. (BTB). Onlinequelle: <https://www.transportbeton.org/branche/wirtschaftsdaten/> [letzter Zugriff am 08.12.2025]
- [6] Gehlen, C. (2000) Probabilistische Lebensdauerbemessung von Stahlbetonbauwerken – Zuverlässigkeitsbetrachtungen zur wirksamen Vermeidung von Bewehrungskorrosion. Dissertation, RWTH Aachen, DAfStb-Heft 510, Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [7] Deutsches Institut für Normung (2019) DIN EN 12390-10:2019-08: Prüfung von Festbeton – Teil 10: Bestimmung des Karbonatisierungswiderstandes von Beton bei atmosphärischer Konzentration von Kohlenstoffdioxid (Kammertest). Beuth Verlag, Berlin
- [8] Deutsches Institut für Normung (2015) DIN EN 12390-11:2015-11: Prüfung von Festbeton – Teil 11: Bestimmung des Chloridwiderstandes von Beton – Einseitig gerichtete Diffusion. Beuth Verlag, Berlin.
- [9] Bundesanstalt für Wasserbau (2019) BAW Merkblatt Dauerhaftigkeitsbemessung und -bewertung von Stahlbetonbauwerken bei Karbonatisierung und Chlorideinwirkung (MDCC). Karlsruhe
- [10] Deutsches Institut für Normung (2017) DIN CEN/TS 12390-9:2017-05: Prüfung von Festbeton – Teil 9: Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand – Abwitterung. Beuth Verlag, Berlin
- [11] Deutsches Institut für Normung (2023) DIN 1045-3:2023-08: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 3: Bauausführung. Beuth Verlag, Berlin
- [12] Deutsches Institut für Normung (2020) DIN EN 12390-12:2020-4: Prüfung von Festbeton – Teil 12: Bestimmung des Karbonatisierungswiderstandes von Beton – Beschleunigtes Karbonatisierungsverfahren. Beuth Verlag, Berlin
- [13] Kubens, S., Lozano-Valcarcel, J. M., Kränkel, T., Müller, C., Gehlen, C. (2026) Dauerhaftigkeit von Beton nach dem Performance-Prinzip – Objektsammlung / Zustandserfassung eines repräsentativen Bauwerksbestandes. DAfStb-Heft 661, DIN Media GmbH, Berlin
- [14] Lozano-Valcarcel, J. M., Cassiani, J. D., Kränkel, T., Keßler, S., Gehlen, C. (2026) Dauerhaftigkeit von Beton nach dem Performance-Prinzip – Grenzzustände / erforderliche Zuverlässigkeiten. DAfStb-Heft 662, DIN Media GmbH, Berlin
- [15] Feldrappe, V., Mohs, M., Kempf, L.-A., Vogel, M., Ehrenberg, A., Dehn, F., Breitenbücher, R. (2026) Dauerhaftigkeit von Beton nach dem Performance-Prinzip – Bewertung von Laborprüfverfahren zum Karbonatisierungs-, Chlorid-, Frost-/ Frost-Tausalz- und Säurewiderstand. DAfStb-Heft 663, DIN Media GmbH, Berlin

- [16] Mohs, M., Vogel, M., Dehn, F., Rokoß, N.-C., Langer, C., Kapteina, G., Röckrath, K.; Kubens, S.; Müller, C. (2026) Dauerhaftigkeit von Beton nach dem Performance-Prinzip – Materialwiderstände, Produktionskontrolle (PC), Konformitätskriterien und -kontrolle (CC). DAfStb-Heft 664, DIN Media GmbH, Berlin
- [17] Ov, D., Lozano-Valcarcel, J. M.; Kränkel, T.; Gehlen, C.; Breitenbücher, R. (2026) Dauerhaftigkeit von Beton nach dem Performance-Prinzip – Annahmeprüfungen auf der Baustelle / Abnahmeprüfungen am Bauwerk. DAfStb-Heft 665, DIN Media GmbH, Berlin
- [18] Hermerschmidt, W. (2025) Wissenschaftliche Studie zur Ermittlung des CO₂-Reduktionspotenziales durch das deutsche ERC-Konzept. DAfStb-Heft 666, DIN Media GmbH, Berlin

4 Autoren

Dr.-Ing. Angelika Schießl-Pecka

Ingenieurbüro Schießl Gehlen Sodeikat GmbH
Landsberger Straße 370
80687 München
schiessl-pecka@ib-schiessl.de

David Ov

Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V.
Budapester Straße 31
10787 Berlin
david.ov@dafstb.de

Prof. Dr.-Ing. Udo Wiens

Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V.
Budapester Straße 31
10787 Berlin
udo.wiens@dafstb.de

Beton ist grün – und die Sache mit der Kommunikation

Uwe Kopf

Zusammenfassung

Beton zählt zu den zentralen Baustoffen moderner Infrastruktur, steht jedoch zunehmend im Spannungsfeld zwischen technischer Leistungsfähigkeit, ökologischer Bewertung und öffentlicher Wahrnehmung. Der Umbau des Bahnhofsvorplatzes in Konstanz verdeutlicht exemplarisch, dass Materialentscheidungen im urbanen Raum heute nicht nur ingenieurtechnisch, sondern auch kommunikativ begründet werden müssen. Der Beitrag zeigt anhand des Projekts, wie Lebenszyklusanalysen, ökologische Bewertung und gezielte Öffentlichkeitsarbeit zusammenwirken können, um Akzeptanz für den Einsatz von Beton zu schaffen.

Schlagwörter: Beton, Lebenszyklusbetrachtung, ökologische Bewertung, Öffentlichkeitsarbeit, Akzeptanz

Abstract

Concrete is one of the key building materials of modern infrastructure, yet it is increasingly caught between technical performance, ecological assessment, and public perception. The redevelopment of the train station square in Konstanz serves as an illustrative example, showing that material choices in urban spaces today have to be justified not only from an engineering perspective but also communicatively. This article demonstrates, using the project as a case study, how life cycle assessments (LCA), ecological evaluation, and targeted public outreach can work together to create acceptance for the use of concrete.

Keywords: Concrete, life cycle assessment (LCA), ecological evaluation, public perception, acceptance

1 Ausgangslage und Projektkonzept

Der Bahnhofsvorplatz Konstanz war über Jahrzehnte hinweg primär Verkehrsfläche. Als ehemalige Bundesstraße mit rund 8.000 motorisiertem Individualverkehr (MIV) und rund 700 Busbewegungen pro Tag erfüllte dieser eine wichtige verkehrliche Funktion, bot jedoch kaum Aufenthaltsqualität. Gleichzeitig stellt der Bahnhofsvorplatz einen zentralen Ankunfts- und Identifikationsort der Stadt dar.

Mit dem Gemeinderatsbeschluss von 2014 wurde die grundlegende Neuausrichtung der Verkehre und somit auch des Vorplatzes beschlossen. Ziel war es, den motorisierten Individualverkehr (MIV) aus dem Platz herauszunehmen, den öffentlichen Verkehr weiterhin zu integrieren und den Raum zu einem urbanen Platz für die Bewohner, Gäste und Besucher von Konstanz umzugestalten. Der Bahnhofplatz wurde damit zu einem Schlüsselprojekt der Stadtentwicklung.

2 Planung und Nutzungskonflikt

Im Zuge der Konkretisierung ab 2019 zeigte sich die typische Vielschichtigkeit innerstädtischer Projekte. Unterschiedliche Anspruchsgruppen formulierten teils konkurrierende Erwartungen: Bürger forderten mehr Aufenthaltsqualität und Begrünung, während der Handel und die Gastronomie eine Verbesserung in der Erreichbarkeit und mehr Nutzflächen benötigten, daneben fokussierten sich politische Gremien auf klimapolitische Zielsetzungen, während Planung und Verwaltung langfristige Funktionsfähigkeit und Flexibilität sicherstellen mussten. Der Bahnhofsvorplatz entwickelte sich dadurch zu einem Ort, an dem technische, gestalterische, ökologische und gesellschaftliche Anforderungen gleichzeitig berücksichtigt werden mussten. Die Wahl der Materialien erhielt in diesem Kontext eine hohe symbolische Bedeutung.

3 Materialwahl und technische Bewertung

Im Rahmen der Vorplanung wurden verschiedene Oberflächenmaterialien untersucht. Großformatige Betonplatten erwiesen sich aufgrund der hohen Belastung und der fahrdynamischen Anforderungen des Busbetriebes als technisch ungeeignet. Asphalt schied aufgrund starker Verformung infolge von Dauerbelastung und gestalterischen Einschränkungen aus. Naturstein stellte zwar eine hochwertige Lösung dar, war jedoch hinsichtlich Kosten, Dauerhaftigkeit und Nachhaltigkeit nur eingeschränkt geeignet.

Vor diesem Hintergrund fiel die Entscheidung auf Ortbeton mit einem Asphaltunterbau. Aus ingenieurtechnischer Sicht überzeugte Beton durch hohe Tragfähigkeit, lange Lebensdauer, geringe Instandhaltungskosten und gestalterische Flexibilität – insbesondere für hochbelastete innerstädtische Flächen.

4 Beton im Kontext der Klimadebatte

Parallel zur Planungsphase intensivierte sich die klimapolitische Diskussion. Mit dem Ausruf des Klimanotstands durch den Oberbürgermeister und dem verstärkten Engagement junger Gemeinderäte rückten ökologische Fragestellungen zunehmend in den Fokus. Beton wurde in der öffentlichen Wahrnehmung verstärkt mit hohen CO₂-Emissionen und Flächenversiegelung assoziiert. Damit wurde die Materialwahl nicht nur zu einer technischen, sondern auch zu einer politischen und gesellschaftlichen Fragestellung. Klassische ingenieurtechnische Argumente erwiesen sich allein als nicht ausreichend, um Akzeptanz zu erzeugen.

5 Ökobilanzierung und Lebenszyklusbetrachtung

Zur fundierten Bewertung der Materialwahl wurde gemeinsam mit der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Gestaltung Konstanz (HTWG) eine vergleichende Ökobilanzierung durchgeführt. Betrachtet wurden Asphalt, Beton und Naturstein über einen Lebenszyklus von 50 Jahren.

Die Ergebnisse zeigten, dass Beton bei hochbelasteten Flächen im Lebenszyklusvergleich ökologisch mehr als konkurrenzfähig ist. Entscheidend war dabei die ganzheitliche Betrachtung von Herstellung, Nutzung, Instandhaltung und Erneuerung. Maßgeblich war der letzte Punkt ausschlaggebend. Die angenommene Erneuerung der Fahrbahndecke aus Asphalt ca. alle 7 Jahre verursacht einen CO₂-Ausstoß, der etwa dreimal so hoch liegt wie der der Herstellung der gewählten Betonbauweise. Diese Analyse bestätigte die technische Entscheidung zugunsten von Beton, machte jedoch zugleich deutlich, dass ökologische Bewertungen aktiv kommuniziert werden müssen.

6 Kommunikation als Bestandteil des Bauprozesses

Im weiteren Projektverlauf wurde Kommunikation als integraler Bestandteil des Planungs- und Bauprozesses verstanden. Ziel war es, Transparenz zu schaffen, Entscheidungsgrundlagen nachvollziehbar zu machen und unterschiedliche Zielgruppen gezielt anzusprechen. Maßgeblich war die erste Instanz und damit die Einbeziehung des Gemeinderates in den Entwicklungsprozess. Zu den umgesetzten Maßnahmen gehörten im weiteren Verlauf öffentliche Informationsveranstaltungen, kontinuierliche Pressearbeit (Jour-Fixe-Termine alle 6 - 8 Wochen), Gespräche mit Interessenverbänden wie Einzelhändlern oder Vertretern der Gastronomie sowie Baustellenführungen für interessierte Bürger, Studenten oder den Stadt seniorenrat. Besonders wirkungsvoll erwiesen sich persönliche Gespräche mit direkt betroffenen Akteuren aus Handel und Gastronomie.

Die besonderen Bedürfnisse der von der Baustelle Betroffenen sollten dabei nicht in Gruppen diskutiert werden, da sonst die Gefahr besteht, dass die Diskussion nicht mehr sachlich bleibt. Statt die Fakten zu besprechen, wird man der geballten Ladung der Emotionen ausgesetzt, was dem Lösungsprozess entgegenläuft und die Fronten verhärten kann.

Eine besondere Herausforderung waren die begleitenden Social-Media-Formate. Gerade diese Formate erreichen eine Zielgruppe, die von der klassischen Presse schwer erreicht werden kann. Dass man sich als Hauptperson in einem Kurzfilm wiederfindet, wird im Ingenieurstudium jedoch nicht vermittelt. Der Mehrwert, der sich aus der Nutzung dieser Formate ergibt, rechtfertigt es jedoch, sich dieser Herausforderung zu stellen.

7 Umsetzung und Bauausführung

Auch während der Bauphase spielte Kommunikation eine zentrale Rolle. Der Auftraggeber legte großen Wert auf die Auswahl erfahrener Auftragnehmer mit hoher Kompetenz im Ortbetonbau. Darüber hinaus ist es von großer Bedeutung, erfahrenes, besonnenes Personal sowohl in der Bauleitung als auch in der Baustellenführung zu haben. Dieses Team muss sich eng abstimmen, um die Ziele der Planung auch in die Ausführung zu bringen. Die Bauausführung wurde damit nicht nur als technischer Prozess, sondern auch als sichtbarer Teil der öffentlichen Wahrnehmung verstanden.

8 Fazit

Das Projekt Bahnhofsvorplatz Konstanz zeigt, dass Beton im urbanen Raum weiterhin ein leistungsfähiger und in vielen Anwendungsfällen ökologisch sinnvoller Baustoff ist. Gleichzeitig wird deutlich, dass der Einsatz

von Beton heute zunehmend erklärungsbedürftig ist. Ökologische Bewertungen müssen frühzeitig in den Planungsprozess integriert und transparent kommuniziert werden. Öffentlichkeitsarbeit und Marketing sind dabei keine Zusatzaufgaben, sondern Bestandteil verantwortungsvollen Planens und Bauens.

Die zentrale Erkenntnis lautet:

Nicht der Baustoff Beton ist das Problem – sondern die fehlende oder unzureichende Kommunikation über seine Eigenschaften, Einsatzgrenzen und Potenziale.

9 Autoren

Uwe Kopf

Stadt Konstanz, Tiefbauamt

Untere Laube 24

78459 Konstanz

uwe.kopf@konstanz.de

Senkung der Klimawirkung im Betonbau – die U5 als Leuchtturm für klimaschonenden urbanen Verkehrsinfrastrukturbau

Hannah Schönettin

Zusammenfassung

Die neue U-Bahn-Linie U5 ist ein zentrales Element der Hamburger Mobilitätswende und unterstützt das Ziel, die Klimaneutralität der Stadt bereits bis 2040 zu erreichen. Neben der Verbesserung der Erreichbarkeit wichtiger Stadtteile und Einrichtungen stellt der Bau der U5 aufgrund des hohen Ressourcenbedarfs eine erhebliche Herausforderung dar. Um die ökologischen Auswirkungen zu minimieren, verfolgt das Projekt eine umfassende THG-Reduktionsstrategie, die auf Planungsoptimierung, Materialminimierung, emissionsarme Baustoffe und klimafreundliche Bauprozesse setzt. Dadurch können die Emissionen gegenüber einer konventionellen Bauweise, wie sie in Hamburg bisher typisch ist, um rund 70 % reduziert werden. Die Strategie wird mit Hilfe verbindlicher Vorgaben in Planung, Ausschreibung und Ausführung sowie durch ein kontinuierliches Monitoring umgesetzt. Ergänzend setzt die U5 auf innovative Ansätze wie Stahlfasertübbinge, die Nutzung von Recyclingmaterialien und die Elektrifizierung von Baumaschinen und Baustellenfahrzeugen. Diese Maßnahmen zeigen, wie technologische Innovation und konsequente Projektsteuerung dazu beitragen, ambitionierte Klimaziele im Infrastrukturbau zu erreichen und neue Standards für nachhaltige Großprojekte zu setzen.

Schlagwörter: U-Bahn-Linie U5, THG-Reduktionsstrategie, klimafreundliches Bauen, Beton, Recycling

Abstract

The new U5 subway line is a central element of Hamburg's mobility transition and supports the city's goal of achieving climate neutrality by 2040. In addition to improving accessibility to key districts and facilities, the construction of the U5 poses significant challenges due to its high resource demand. To minimize environmental impact, the project implements a comprehensive GHG reduction strategy, focusing on planning optimization, material minimization, low-emission construction materials, and climate-friendly construction processes. These measures reduce emissions by around 70 % compared to conventional construction methods typical in Hamburg. The strategy is enforced through binding requirements in planning, tendering, and execution, combined with continuous monitoring. Additionally, the U5 employs innovative approaches such as steel fiber sleepers, the use of recycled materials, and the electrification of construction machinery and vehicles. These measures demonstrate how technological innovation and rigorous project management contribute to achieving ambitious climate targets in infrastructure projects, setting new standards for sustainable large-scale construction.

Keywords: U5 subway line, GHG reduction strategy, climate-friendly construction, concrete, recycling

Projektvorstellung der U5

Die neue U-Bahn-Linie U5 ist ein wesentlicher Hebel zur Realisierung der Mobilitätswende in Hamburg und trägt maßgeblich zur Erreichung der Klimaschutzziele der Stadt bei. Der Hamburger Klimaplan sah bislang vor, dass die Hansestadt bis 2045 klimaneutral wird. Mit dem jüngsten Volksentscheid wurde dieses Ziel noch einmal deutlich verschärft: Hamburg soll bereits ab dem Jahr 2040 klimaneutral sein.

Um dieses ambitionierte Ziel zu erreichen, spielt die U5 eine entscheidende Rolle. Sie wird bisher nicht angebundene Stadtteile an das Schnellbahnnetz anschließen und damit eine leistungsfähige und umweltfreundliche Alternative zum motorisierten Individualverkehr (MIV) schaffen. Im Osten wird der Stadtteil Bramfeld erstmals direkt angebunden, während im Westen die Arenen und – wie im Herbst 2025 vom Senat angekündigt – mit zwei zusätzlichen Haltestellen über die bisher geplante Endstation hinaus erschlossen werden. Darüber hinaus profitieren bedeutende Standorte wie das Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf (UKE) mit rund 16.000 Beschäftigten sowie die Universität Hamburg mit rund 43.000 Studierenden von einem direkten U-Bahn-Anschluss (vgl. Abbildung 1). Damit wird die U5 nicht nur zur Entlastung des Straßenverkehrs beitragen, sondern auch die Erreichbarkeit zentraler Einrichtungen der Stadt erheblich verbessern.

Die Fertigstellung der gesamten Linie ist für das Jahr 2040 vorgesehen, wobei Teilinbetriebnahmen bereits deutlich früher erfolgen: Anfang der 2030er Jahre wird der derzeit im Bau befindliche Streckenabschnitt U5 Ost mit seinen fünf Haltestellen in Betrieb gehen. Der daran anschließende Streckenabschnitt und die beiden Haltestellen folgen Mitte der 2030er Jahre. Damit leistet die U5 bereits vor ihrer vollständigen Fertigstellung einen wichtigen Beitrag zur Mobilitätswende und zur Erreichung der städtischen Klimaziele.

Gleichzeitig ist die Realisierung eines Infrastrukturprojekts dieser Größenordnung mit erheblichen Ressourcenverbräuchen verbunden. Für den Bau der U5 werden etwa 4 Millionen m³ Beton, rund 600.000 Tonnen Stahl sowie Strom von ca. 470.000 MWh benötigt und rund 7 Millionen m³ Bodenaushub anfallen. Diese Dimensionen verdeutlichen die Notwendigkeit einer umfassenden Strategie zur Reduktion von Treibhausgasemissionen (THG). Da der Bau mit erheblichen Emissionen einhergeht, ist es das Ziel der U5 Projekt GmbH, diese sowohl in der Planungsphase als auch im eigentlichen Bau durch gezielte Maßnahmen so weit wie möglich zu reduzieren und damit die ökologischen Auswirkungen des Projekts deutlich zu minimieren.

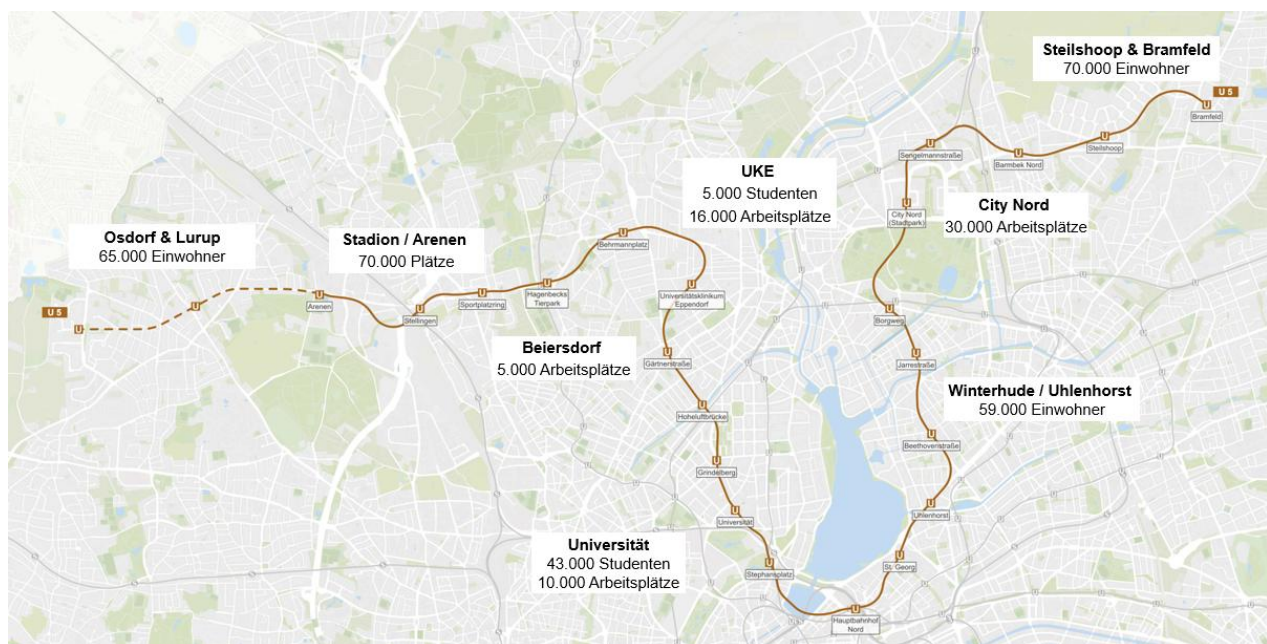


Abb. 1: Streckenabschnitt der U5 mit Nennung der Bedarfe (Streckenführung U5 West aus vorläufigem Ergebnis einer Machbarkeitsuntersuchung im Jahr 2019)

1 Die THG-Reduktionsstrategie der U5

Seit 2022 hat die U5 GmbH eine umfassende THG-Reduktionsstrategie für die gesamte Projektlaufzeit der U5 implementiert. Das übergeordnete Ziel der Strategie liegt in dem Erreichen des größtmöglichen Einsparpotenzials an THG-Emissionen bei gleichzeitiger Sicherstellung der notwendigen Funktionalität der Bauwerke für die U5. Die grundsätzliche Leistungsfähigkeit und Qualität der Infrastruktur bleiben dabei uneingeschränkt erhalten. Dafür wurde für die gesamte Projektlaufzeit eine fortzuschreibende sogenannte THG-Roadmap entwickelt. Diese Roadmap folgt einem zentralen Prinzip der Nachhaltigkeit: Der Bedarf an Infrastruktur wird gedeckt, jedoch werden die ökologischen Auswirkungen so weit wie möglich reduziert (vgl. [1]). Die THG-Optimierung wird also als zusätzliches Ziel neben den drei klassischen Projektdimensionen Qualität, Kosten und Bauzeit in die Planung sowie Ausführung integriert.

Die Roadmap umfasst zwei Szenarien [2]:

- **Baseline-Szenario („Do-Nothing-Szenario“):**
Dieses Szenario bildet die konventionelle Bauweise ab, wie sie bisher üblich war.
- **Zielszenario:**
Basierend auf der Analyse von THG-Hotspots wurden Strategien entwickelt, die THG-optimierte Bauweisen und -verfahren vorsehen.

Die Maßnahmen zur Emissionsreduktion im Zielszenario folgen dabei drei Grundprinzipien:

1. **Suffizienz** – Optimierung der Materialmengen bereits in der Planung bei gleicher Funktionalität
Beispiele: Anpassung der Bauwerkskubaturen, Kombination von Dauerbauwerk und Verbau
2. **Effizienz** – Verwendung von THG-effizienten Baumaterialien
Beispiele: Einsatz von Betonen mit reduzierter THG-Last, THG-optimierte Stähle
3. **Konsistenz** – Nutzung emissionsarmer Bauprozesse und Herstellungsweisen
Beispiele: Optimiertes Bodenmanagement, Optimierung der Spezialtiefbauarbeiten (Düsenstrahlverfahren), Einsatz von Ökostrom und Elektromobilität bei Transporten und Baufahrzeugen

Auch zukünftige Entwicklungen in der Industrie werden im Zielszenario berücksichtigt. Das Zielszenario wurde erstmals 2022 ermittelt (vgl. [2]) und wird jährlich fortgeschrieben. Dabei fließen aktuelle Planungs- und Ausführungsstände ein. Umgesetzte Maßnahmen werden kontinuierlich evaluiert und dienen als Basis für die Weiterentwicklung der Roadmap über die gesamte Projektlaufzeit. Hierzu werden abgeschlossene Planungen analysiert und tatsächliche Emissionen aus verbauten Materialien und Bauprozessen erfasst.

Abbildung 2 zeigt die jährlichen THG-Emissionen im Baseline-Szenario (Stand 2022) und die jährlichen THG-Emissionen des Zielszenarios (Stand 2022) sowie die aktualisierten Prognosen für 2024. Demnach lassen sich die Emissionen von ursprünglich 2,7 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten im Baseline-Szenario um rund 70 % auf etwa 829.000 Tonnen CO₂-Äquivalente im Zielszenario (Stand 2024) senken. Zusätzlich sind die IST-Werte aus der Ausführung berücksichtigt. Die THG-Emissionen im Stahl- und Stahlbetonbau sowie im Spezialtiefbau machen den größten Anteil an den Gesamtemissionen im Baseline-Szenario aus. Diese Emittenten bieten gleichzeitig große Potenziale zur THG-Reduktion.

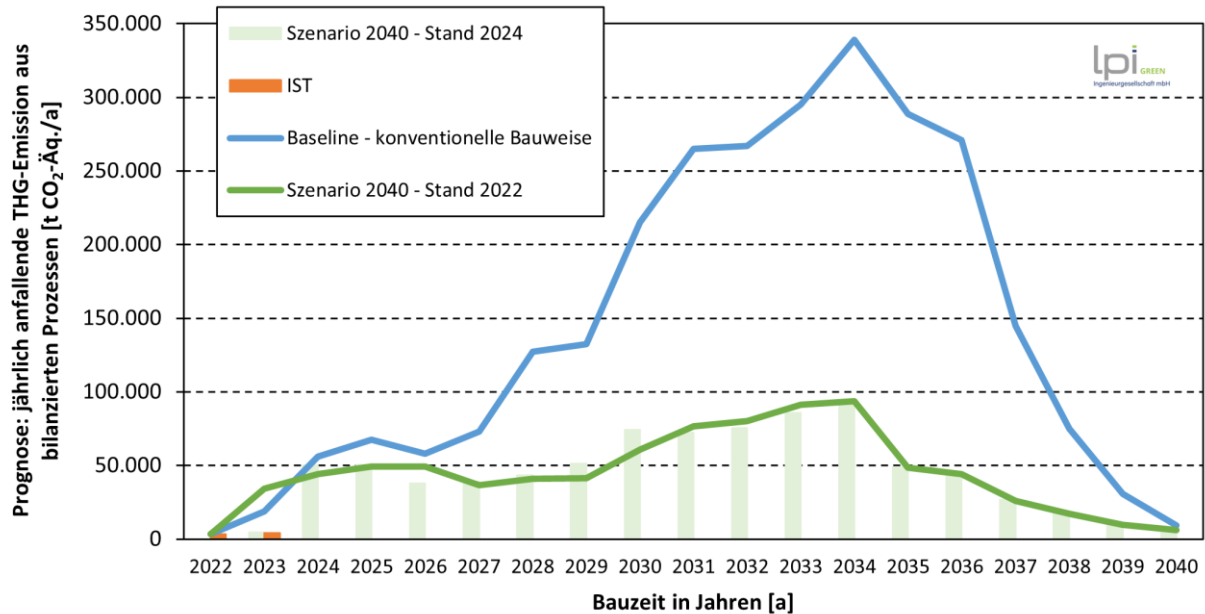


Abb. 2: Grafische Darstellung der THG-Emissionen im Baseline-Szenario, sowie im Zielszenario 2022, im fortgeschriebenen Zielszenario mit Stand 2024, sowie die tatsächlichen IST-Emissionen (Quelle: LPI Ingenieurgesellschaft mbH)

Unterstützt wird dieser Prozess durch eine unabhängige Nachhaltigkeitsberatung, die neben der Strategieentwicklung auch die Planung, Ausschreibung, Ausführung sowie das kontinuierliche Monitoring begleitet.

1.1 Die industrielle Entwicklung

Neben den heute schon möglichen Optimierungen in Planung und auf Materialebene ist ein wesentlicher Bestandteil der THG-Roadmap die Berücksichtigung zukünftiger industrieller Entwicklungen. Um diese Potenziale frühzeitig zu identifizieren und in die Reduktionsstrategie zu integrieren, hat die U5 einen intensiven Austausch mit der Industrie initiiert. Die Ergebnisse dieses Dialogs bilden die Grundlage für die THG-Roadmap 2022.

Erwartete Entwicklungen im Bereich Beton und Zement [2]:

- Ab 2028: Einführung von Zementen mit anteiliger CO_2 -Abscheidung, wodurch die Emissionen auf etwa $96 \text{ kg CO}_2\text{-Äq.} / \text{m}^3$ reduziert werden.
- Ab 2035: Etablierung von Zementen mit vollständiger CO_2 -Abscheidung im Herstellungsprozess, was die Emissionen auf rund $47 \text{ kg CO}_2\text{-Äq.} / \text{m}^3$ senkt.

Erwartete Entwicklungen im Bereich Stahl [2]:

- Ab 2025: Einsatz von THG-reduziertem Bewehrungs- und Profilstahl, hergestellt mit Ökostrom und hohem Recyclinganteil, mit Emissionen von weniger als $400 \text{ kg CO}_2\text{-Äq.} / \text{t}$.
- Ab 2035: Produktion von Profilstahl unter Verwendung von grünem Wasserstoff, wodurch die Emissionen auf unter $100 \text{ kg CO}_2\text{-Äq.} / \text{t}$ sinken.

Die genannten Werte beziehen sich dabei auf die Module A1 – A3 gemäß DIN EN 15978:2012-10. Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass die Industrie liefern kann: So wurde die für 2025 vorgesehene Reduktion bei Bewehrungsstahl auf unter $400 \text{ kg CO}_2\text{-Äq.} / \text{t}$ (A1 – A3 gemäß DIN EN 15978:2012-10 bis Ausgang Stahlwerk) bereits im Jahr 2024 erreicht. Dies bestätigt die Machbarkeit der Roadmap und unterstreicht die Bedeutung einer engen Kooperation zwischen Auftraggebern und der Industrie für die Erreichung der Klimaziele.

Die HOCHBAHN U5 Projekt GmbH steht weiterhin in kontinuierlichem Austausch mit der Industrie, um die Prognosen für das Zielszenario auf aktuellem Stand zu halten und die Ausschreibungen an die jeweils verfügbaren Technologien anzupassen. Gleichzeitig übernimmt die HOCHBAHN U5 Projekt GmbH eine aktive Rolle als Impulsgeber für die industrielle Transformation und setzt wichtige Anreize für die Entwicklung klimafreundlicher Produkte.

1.2 Planung

Ein zentraler Ansatz zur Reduktion von Treibhausgasemissionen liegt in der Optimierung der Planung. Daher wird hier konsequent auf die Umsetzung der oben beschriebenen drei Grundprinzipien geachtet. Darüber hinaus gilt es, bei Variantenentscheidungen immer auch die THG-Last der zu betrachtenden Varianten in die Entscheidungsfindung zu integrieren. Eine THG-basierte Betrachtung von Varianten und daraus resultierende Optimierung von Notausgängen hat im Abschnitt U5M1000 stattgefunden. Diese wurden so angepasst, dass durch Materialvermeidung an einem Notausgang große THG-Einsparungen erzielt werden konnten. Dies gelang durch die Umstrukturierung von Nutzräumen in bislang ungenutzte Bauwerksbereiche, sodass der Querschnitt der Schlitzwände verringert werden konnte und die Tunnelröhren über Querschläge angeschlossen wurden (Abbildung 3: Typ 2 und 3). Eine weitere Optimierung führte schließlich zur Wahl der Senkkastenbauweise (Abbildung 3: Typ 4), die einen optimierten Bauwerksquerschnitt mit einer verbesserten Herstellmethodik vereint und die THG-ärmste Variante darstellt.

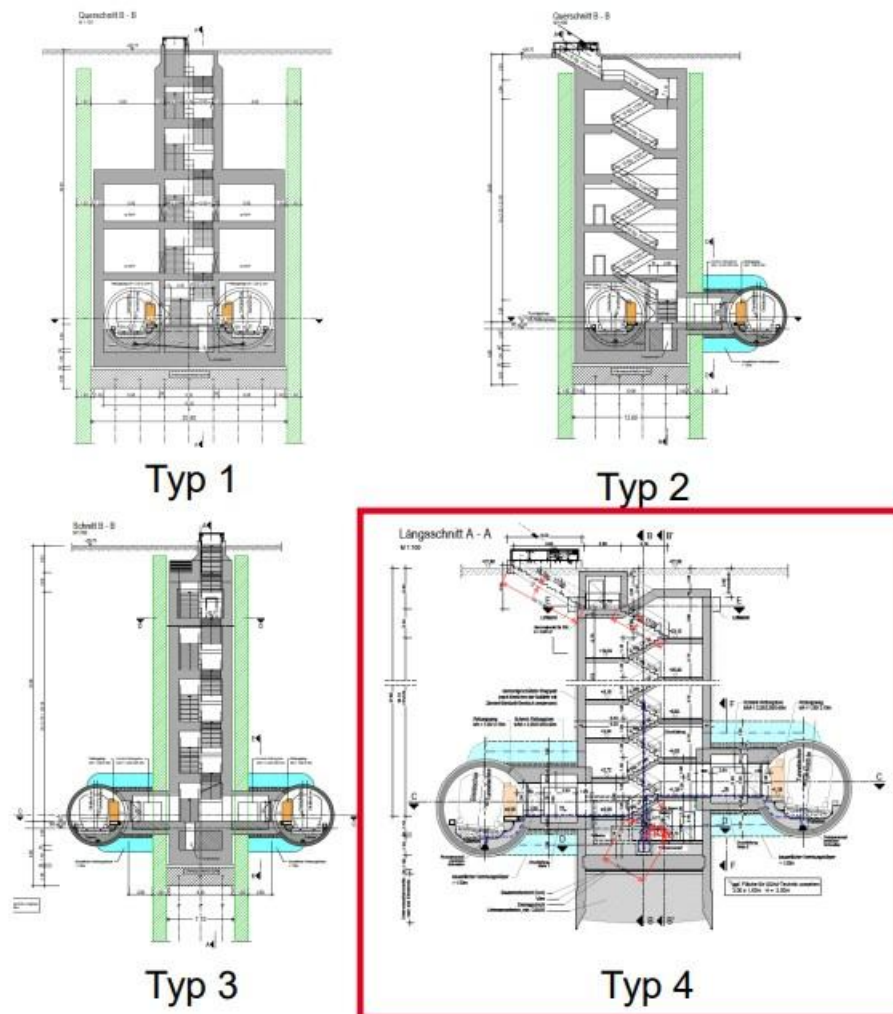


Abb. 3: Untersuchte Notausgangsvarianten mit der Senkkastenbauweise (Typ 4) als THG-ärmste Variante

Ein gutes Beispiel für wesentliche Anpassungen wird am Universitätsklinikum Eppendorf sichtbar: Die Haltestelle wurde aufgrund ihrer besonderen Lage inmitten eines Klinik-Geländes besonders innovativ geplant. Die Kubatur der Haltestelle wurde reduziert, indem die ursprünglich geplante Schalterhallenebene entfiel, da

sie an dieser Stelle nicht zwingend erforderlich war. Die Fahrkartenautomaten wurden stattdessen oberirdisch angeordnet, was den Materialbedarf erheblich reduzierte. Darüber hinaus wurde die gesamte Haltestelle höher gelegt, was einen geringeren Eingriff in den Boden sowie einen geringeren Rohstoffverbrauch mit sich brachte. Des Weiteren kam es bedingt durch die reduzierte Kubatur zu einem Entfall von drei Zugangsbauwerken. All diese Anpassungen tragen wesentlich zu THG-Einsparungen bei.

Dies sind plakative Beispiele, die jedoch auch im kleineren Maßstab Anwendung finden. Durch die Integration des THG-Potenzials in Entscheidungsprozesse während der Planung wird sichergestellt, dass die Emissionsbilanz in die Bewertung einbezogen wird. Dabei besteht die größte Beeinflussbarkeit der THG-Emissionen in den frühen Leistungsphasen, um Materialeinsatz und Bauverfahren so zu gestalten, dass Emissionen von Beginn an berücksichtigt und minimiert werden.

Die U5 bietet dabei ein besonderes Potenzial, da sich die einzelnen Streckenabschnitte in unterschiedlichen Leistungsphasen befinden. Dies ermöglicht ein kontinuierliches Lernen aus bereits umgesetzten Optimierungen, die in nachfolgende Abschnitte übernommen und weiter konkretisiert werden können.

1.3 Ausschreibungen

Ein zentraler Hebel zur Umsetzung von Maßnahmen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen liegt in der Gestaltung der Ausschreibungen für die Bauleistungen. Über die Ausschreibungen können verbindliche Anforderungen an Materialien und Bauprozesse definiert werden, wodurch sich die Klimabilanz des Projekts deutlich verbessern lässt. Ein Beispiel für eine im Projekt etablierte Vorgabe ist die verpflichtende Nutzung von Ökostrom, die den THG-Fußabdruck der Baustellen und der Tunnelbohrmaschinen spürbar reduziert.

Besonders relevant ist außerdem der Baustoff Beton, da die Herstellung von Zementklinker sehr energieintensiv ist und somit große Mengen an THG-Emissionen produziert. Für Transport- und Ortsbetone wird bei der U5 deshalb als Standard inzwischen der Einsatz klinkerarmer Zemente gefordert – etwa CEM III nach DIN EN 197-1:2011-11 oder Varianten mit maximal 64 % Klinkergehalt, sofern keine normativen Vorgaben entgegenstehen. Für besonders massive Bauteile wie Schlitzwände oder Bauwerkssohlen gelten noch strengere Vorgaben: Hier dürfen nur Zemente mit höchstens 34 % Klinkergehalt verwendet werden. Ausnahmen sind nur bei Winterbetonagen zulässig. Darüber hinaus sollen Strategien zur weiteren Reduzierung des Zementgehalts verfolgt werden, beispielsweise durch Betonzusatzmittel, die die Festigkeit stabilisieren oder die Erhärtung beschleunigen. Zur Kontrolle werden freigegebene Betone in den Ausführungsplänen festgelegt. Des Weiteren werden Anforderungen für die Reduzierung der THG-Emissionen im Spezialtiefbau in der Ausschreibung definiert. Die U5 fordert daher, klinkerreduzierte Zemente für Verpressmörtel und DSV-Körper zu verwenden. Die Unterlagen der Bieter müssen den spezifischen THG-Gehalt ihrer Betone nachweisen – berechnet nach anerkannten Branchenstandards wie dem „Global Cement and Concrete Association“ (GCCA)-Tool oder gleichwertigen Verfahren. In der Ausführung werden die eingesetzten Betone kontinuierlich geprüft.

Neben Beton stellen Stahlprodukte die Haupttreiber für THG-Emissionen dar. Um diese Emissionen deutlich zu senken, wurden im Los 2 der U5 Ost für Bewehrungsstahl klare Grenzwerte festgelegt. In der Ausschreibung wurde zunächst ein maximaler Wert von 500 kg CO₂-Äq. / t definiert, der nachträglich auf 400 kg CO₂-Äq. / t reduziert werden konnte. Diese Vorgaben stellen sicher, dass die eingesetzten Materialien einen messbaren Beitrag zur Emissionsminderung leisten. Ergänzend wurde im Los 1 der U5 Ost nachträglich ein Grenzwert von 500 kg CO₂-Äq. / t für Bewehrungsstahl eingeführt.

Aktuell wird geprüft, wie ergänzende Konzepte zur weiteren Minderung von Treibhausgasemissionen künftig in die Angebotsbewertung einfließen können – insbesondere im Hinblick auf die Emittenten Beton und Stahl. Ein betrachteter Ansatz ist der sogenannte Schattenpreis. Mit dieser Methode ließen sich Maßnahmen und THG-reduzierte Produkte berücksichtigen, die derzeit noch nicht flächendeckend verfügbar oder von allen Bietenden umsetzbar sind. Ziel ist es, den Bietenden die Möglichkeit zu geben, durch eigeninitiativ erzielte

THG-Einsparungen bei Beton- und Stahlanwendungen innerhalb eines definierten Kostenrahmens ihre Position in der Gesamtwertung zu verbessern. Die laufende Prüfung soll klären, ob und in welcher Form dieses Instrument in zukünftigen Ausschreibungen eingesetzt werden kann.

1.4 Ausführung Monitoring

Für die Transparenz, Prüf- und Messbarkeit wurde mit Beginn der Ausführung ein gezieltes THG-Monitoring und -Controlling eingeführt. In das Monitoring fließen die THG-Emissionen der in der Roadmap betrachteten Emittenten ein. Das Monitoring dient zur Erstellung der Jahresbilanz, die zudem in die Fortschreibung der Roadmap einfließt. Empfehlenswert ist dabei, das Monitoring fachmännisch zu begleiten und insbesondere im Rahmen der Bauüberwachung ein besonderes Augenmerk auf die Nachweisführung zu legen. Gleichzeitig müssen in der Ausschreibung die entsprechenden Rahmenbedingungen geschaffen werden, indem klare Nachweispflichten gefordert werden.

2 Innovative Ansätze liefern Beitrag zur THG-Reduktionsstrategie

2.1 Stahlfasertübbinge

Stahlfaserbeton ist in Deutschland vor allem im Hoch- und Industriebau etabliert. Im maschinellen Tunnelbau hat sich diese Anwendung zumindest international weiterentwickelt, in Deutschland steht diese Entwicklung aufgrund der Regelwerksituation noch aus. Für die U5 in Hamburg bietet diese Bauweise ein erhebliches Potenzial zur Reduktion von Treibhausgasemissionen. Der Vorteil liegt vor allem im deutlich geringeren Stahlverbrauch: Während konventionell bewehrte Tübbinge rund 110 kg Stahl pro Kubikmeter Beton benötigen, sind es bei Stahlfasertübbingen lediglich etwa 40 kg. Dies entspricht einer Reduktion des Materialeinsatzes auf rund ein Drittel und verbessert die ökologische Bilanz erheblich. Neben der THG-Reduktion bietet der Einsatz von Stahlfasertübbingen aber auch weitere Vorteile in der Produktion und der Unterhaltung.

Die U5 weist aufgrund ihrer vielen Tunnelstrecken, die hauptsächlich im Schildvortrieb hergestellt werden, einen hohen Tübbingbedarf auf und bietet daher ein großes THG-Einsparpotenzial. Aus diesem Grund soll der Einsatz von Stahlfasertübbingen möglichst umfassend erfolgen - sowohl im bereits im Bau befindlichen zweigleisigen Tunnelabschnitt der U5 Ost als auch in den folgenden Abschnitten mit zwei parallelen eingleisigen Schildröhren. Für den zweigleisigen Tunnelquerschnitt der U5 Ost ist eine Schildröhre mit einem Durchmesser von 11 m vorgesehen, während die anschließenden Abschnitte aus zwei separaten Schildröhren mit jeweils 7 m Durchmesser bestehen.

In Deutschland ist Stahlfaserbeton nach der bauaufsichtlich eingeführten DAfStb-Richtlinie [3] grundsätzlich zulässig, jedoch primär für den Hoch- und Industriebau ausgelegt. Für den Tunnelbau ergeben sich Einschränkungen, da die Richtlinie wichtige Aspekte wie höhere Festigkeitsklassen oder Mehrfachrissbildung nicht adressiert. Die DAUB-Empfehlungen [4] stellen einen ersten Schritt zur Anpassung dar, bleiben aber aufgrund fehlender experimenteller Untersuchungen vorsichtig. Bei deutschen Tunnelbauprojekten existiert daher derzeit keine verbindliche Grundlage, die auf die Rahmenbedingungen des Tunnelbaus zugeschnitten ist. Aufgrund dessen ist eine Zulassung im Einzelfall (ZiE) oder eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) nötig, um Stahlfasertübbinge in Deutschland zu bauen.

Für zwei Abschnitte der U5 wurde daher eine ZiE initiiert. Es handelt sich dabei um den Abschnitt U5 Ost, sowie den angrenzenden Abschnitt M1000, sodass das dafür erstellte Gutachten beide Tunnelquerschnitte der U5 umfasst. Das Gutachten wird von den unabhängigen Gutachtern B+S Ingenieure GbR erarbeitet, in das theoretische und experimentelle Untersuchungen einfließen. Hierfür wird mit den Fachleuten der Technischen Universität München (Lehrstuhl für Massivbau, Prof. Oliver Fischer) und dem Materialprüfamt für das Bauwesen (MPA BAU) gearbeitet, die die Versuche durchführen. Es werden verschiedene klein- und großmaßstäbliche Versuche, u. a. Biege-, Zug- und Fugenversuche, durchgeführt (Abbildung 4). Hieraus werden

Bemessungs- und Nachweisstrategien nach gutachterlicher Bewertung abgeleitet. Zudem werden ausführungstechnische Vorgaben und Prüf- und Überwachungskonzepte zur Qualitätssicherung der Bauausführung im Gutachten beschrieben. Das Gutachten wird Grundlage für eine sichere Anwendung bei der U5. Die Arbeitsgemeinschaft der U5 Ost ist aufgrund des fortgeschrittenen Planungsstandes eng bei der Entwicklung der Rezepturen und bei der Qualitätssicherung für die Bauausführung eingebunden.



Abb. 4: Bilder aus der Versuchsanstalt MPA BAU bei der Vorbereitung und Durchführung der Versuche für das Gutachten (Quelle: MPA BAU TUM)

2.2 Einsatz von Recyclingprodukten

Eine weitere wirkungsvolle Möglichkeit zur Reduktion von Treibhausgasemissionen liegt in der Wiederverwertung industrieller Nebenprodukte. Dieser Ansatz bietet einen doppelten Vorteil: Zum einen werden wertvolle Ressourcen geschont, zum anderen wird verhindert, dass industrielle Abfälle entstehen. Voraussetzung für den Einsatz ist eine sorgfältige Prüfung der Materialeigenschaften sowie der technischen und normativen Anforderungen. Stimmen diese überein, entsteht eine Win-Win-Situation für beide Seiten – die Industrie und das Bauprojekt.

Ein konkretes Beispiel ist der Einsatz von Eisensilikat, einem Nebenprodukt aus der Kupferraffination und dem Kupferrecycling. Daher hat die HOCHBAHN U5 Projekt GmbH gemeinsam mit einem Arbeitskreis die Verwendung von Eisensilikat als alternative Lösung für die Tunnelsohlverfüllung für die U5 Ost untersucht. Das Material soll als ungebundene Auffüllung eingebracht und anschließend mit einer Abdeckplatte aus Füllbeton überdeckt werden (vgl. Abbildung 5). Durch diese Maßnahme kann die THG-Last der Tunnelsohle um bis zu 70 % reduziert werden. Zum Vergleich: In der ursprünglichen Planung war vorgesehen, die Tunnelsohle vollständig mit Füllbeton auszuführen. Die Nutzung von Eisensilikat stellt somit einen erheblichen Beitrag zur Emissionsminderung dar und zeigt, wie innovative Ansätze in der Materialwahl die Klimabilanz eines Infrastrukturprojekts deutlich verbessern können.

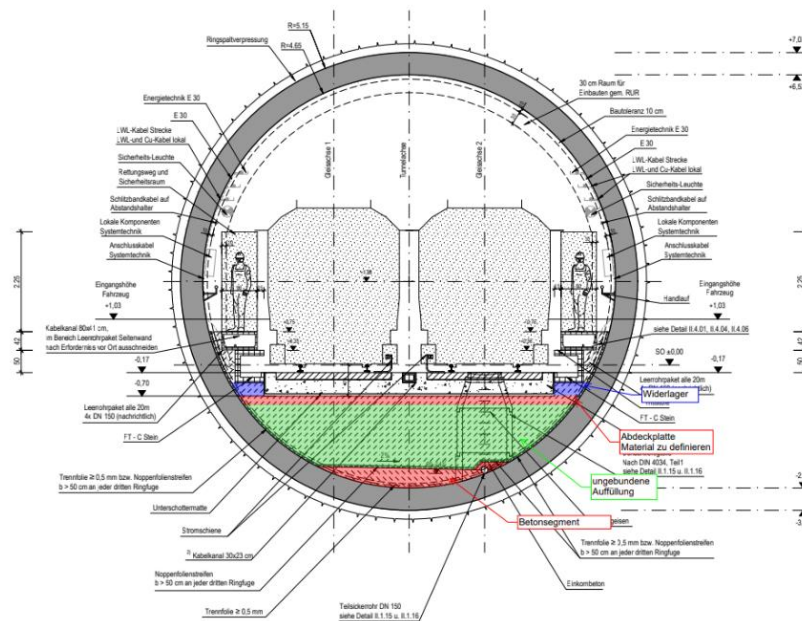


Abb. 5: Darstellung des Tunnelquerschnitts der U5 Ost mit alternativer Tunnelsohle

2.3 Elektrische Maschinen und Baustellenfahrzeuge

Die langfristige Strategie der HOCHBAHN U5 Projekt GmbH ist klar definiert: Alle bislang dieselbetriebenen Maschinen und Baustellenfahrzeuge sollen vollständig elektrifiziert werden. Elektrische Baumaschinen bieten entscheidende Vorteile – allen voran den lokal emissionsfreien Betrieb („Local Zero Emissions“). Das bedeutet: Am Einsatzort entstehen keine Treibhausgasemissionen. Da auf den Baustellen ausschließlich Ökostrom genutzt wird, sind die Gesamtemissionen im Vergleich zum Dieselbetrieb minimal. Für die Anwohner*innen bringt dies spürbare Verbesserungen: weniger Lärm, keine Abgase – ein besonders wichtiger Faktor im innerstädtischen Raum. Ein weiterer Aspekt betrifft die Luftqualität beim Aushub unter Deckel: Hier muss bislang aufwendige Bewetterung erfolgen, um die Abgase abzuführen. Elektrische Maschinen können diesen Aufwand deutlich reduzieren.

Die HOCHBAHN U5 Projekt GmbH treibt die Elektrifizierung von Baustellen und Logistik konsequent voran. So wurde im Frühjahr 2025 erfolgreich ein elektrisch betriebener Radlader auf der Baustelle der U5 Ost getestet (vgl. Abbildung 6). Die Ergebnisse lieferten wertvolle Erkenntnisse zu Ladezyklen, Energieverbrauch und zur generellen Praxistauglichkeit unter realen Baustellenbedingungen.

Auch im Bereich Bodenmanagement werden neue Wege beschritten: Der Aushubtransport erfolgt testweise mit einem elektrisch betriebenen LKW. Hier zeigt sich die Reichweite als zentrale Herausforderung. Weitere Tests sowohl im Baustellenbetrieb als auch in der Logistik sind bereits geplant. Neben der Umstellung der Fahrzeuge ist hierbei der Aufbau einer geeigneten Ladeinfrastruktur ein entscheidender Erfolgsfaktor. Die HOCHBAHN U5 Projekt GmbH arbeitet hierzu eng mit relevanten Hamburger Akteuren zusammen, um tragfähige Lösungen zu entwickeln.



Abb. 6: Elektrischer Radlader im Testbetrieb auf der Baustelle U5 Ost

Die zunehmende Integration elektrischer Maschinen erfordert ein Umdenken – von der Planung über die Ausschreibung bis hin zur praktischen Umsetzung. Energieversorgung, Infrastruktur, Bauabläufe und Zeitmanagement müssen neu gedacht und auf die Anforderungen elektrischer Geräte abgestimmt werden. Gleichzeitig möchte die HOCHBAHN U5 Projekt GmbH ein klares Signal an die Hersteller senden: Elektrische Baumaschinen sind ein zentraler Bestandteil der Reduktionsstrategie. Durch den kontinuierlichen Austausch mit Herstellern und Praxistests ist die U5-Projektgesellschaft frühzeitig in die Marktentwicklung eingebunden. Zudem wird geprüft, wie die Elektrifizierung in Ausschreibungen gezielt gefördert werden kann, um die Nachfrage zu stärken und die technologische Entwicklung zu beschleunigen.

Auf dem Weg zur vollständigen Elektrifizierung kann HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) eine sinnvolle Zwischenlösung darstellen. Der synthetische Kraftstoff aus pflanzlichen Ölen und tierischen Fetten reduziert die Treibhausgasemissionen im Vergleich zu fossilem Diesel um mindestens 80 % – abhängig von Rohstoffherkunft und Herstellungsprozess. Derzeit wird HVO bereits im Bodentransport eingesetzt. Perspektivisch soll auch der Baustellenbetrieb sukzessive von fossilem Diesel auf HVO umgestellt werden. Damit lassen sich kurzfristig deutliche Klimaschutzverbesserungen erzielen, ohne auf tiefgreifende technische Umstellungen warten zu müssen. Das übergeordnete Ziel bleibt jedoch bestehen: den Einsatz fossiler Energieträger vollständig zu beenden und auf eine emissionsfreie, elektrifizierte Baustelle und Transportlogistik umzustellen.

3 Zusammenfassung

Die neue U-Bahn-Linie U5 ist ein Schlüsselprojekt der Hamburger Mobilitätswende und trägt maßgeblich dazu bei, Klimaneutralität in Hamburg bereits bis 2040 zu erreichen. Sie verbessert die Anbindung wichtiger Stadtteile und Einrichtungen und reduziert den motorisierten Individualverkehr (MIV) deutlich. Gleichzeitig stellt der Bau aufgrund des hohen Ressourcenbedarfs eine große Herausforderung dar, die durch eine umfassende THG-Reduktionsstrategie adressiert wird. Diese Strategie integriert Materialoptimierung, den Einsatz emissionsarmer Baustoffe und klimafreundliche Bauprozesse und senkt die Emissionen gegenüber dem Baseline-Szenario um rund 70 %.

Ein zentraler Hebel liegt in der frühzeitigen Integration von THG-Potenzialen in die Planung. Durch optimierte Bauwerksgestaltungen, wie die Optimierung von Notausgängen oder die Reduzierung von Kubaturen von Haltestellen, konnten erhebliche Materialeinsparungen erzielt werden. In der Ausschreibung werden verbindliche Vorgaben für Ökostrom, klinkerarme Zemente und klare THG-Grenzwerte von Stahl festgelegt. Zusätzlich wird geprüft, ob Konzepte wie der Schattenpreis künftig in die Angebotsbewertung integriert werden können, um freiwillige THG-Einsparungen zu honorieren. Während der Ausführung sorgt ein kontinuierliches Monitoring für Transparenz und belastbare Daten, die in die Fortschreibung der Roadmap einfließen.

Neben den etablierten Maßnahmen setzt die U5 GmbH auf innovative Lösungen, um die Klimabilanz des Projekts weiter zu verbessern. Dazu gehört der Einsatz von Stahlfasertübbingen, die den Stahlbedarf im Tunnelbau um rund ein Drittel reduzieren und damit erhebliche Emissionseinsparungen ermöglichen. Für die Anwendung dieser Bauweise wird derzeit eine ZiE vorbereitet.

Ein weiterer Ansatz ist die Nutzung von Recyclingprodukten wie Eisensilikat, einem Nebenprodukt der Kupferraffination. Dieses Material soll als Alternative zur vollständigen Betonverfüllung der Tunnelsohle eingesetzt werden und kann die THG-Last um bis zu 70 % senken.

Darüber hinaus verfolgt die Projektgesellschaft die Elektrifizierung von Maschinen und Baustellenfahrzeugen, um lokal emissionsfreie Bauprozesse zu ermöglichen. Erste Praxistests mit elektrischen Geräten sind bereits erfolgt, während HVO als Zwischenlösung bereits Verbesserungen bringt. Langfristig bleibt das Ziel, fossile Energieträger vollständig zu ersetzen und eine elektrifizierte Baustelle und Transportlogistik zu realisieren.

Mit diesen Maßnahmen setzt die U5 neue Standards für nachhaltigen Infrastrukturbau und zeigt, wie ambitionierte Klimaziele durch technologische Innovation, konsequente Planung und enge Zusammenarbeit mit der Industrie erreicht werden können.

4 Literatur

- [1] Begemann, C., Lehmann, L., Eckert, D. (2025) Nachhaltiges Planen und Bauen im Ingenieurbau – Aktuelle Entwicklungen und Chancen. Ingenieurbaukunst 2025, Ernst & Sohn Verlag, pp. 147 – 151, Berlin
- [2] Begemann, C., Schulte-Schrepping, C. (2022) Neubauprojekt U5 Hamburg – THG-Bilanzierung und Roadmap. LPI-Ingenieurgesellschaft mbH / HOCHBAHN, Hannover, Onlinequelle: <https://www.hochbahn.de/resource/blob/33768/067e583a2d2751ec94412caaf785b070/u5-d-klima-summary-data.pdf> [letzter Zugriff am 26.11.2025]
- [3] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) (2021) Stahlfaserbeton, DAfStb-Richtlinie, DIN Media GmbH, Berlin
- [4] Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e.V. (DAUB) (2024) Empfehlungen für den Entwurf, die Herstellung und den Einbau von Tübbingringen. Onlinequelle: [Empfehlungen für den Entwurf, die Herstellung und den Einbau von Tübbingringen](#) [letzter Zugriff am 09.01.2026]

5 Autoren

Hannah Schönettin

HOCHBAHN U5 Projekt GmbH

Überseering 10

22297 Hamburg

hannah.schoenettin@hochbahn.de

Klimafreundliche Zemente und Betone: Eigenschaften, Anwendung und Kennzeichnung

Christoph Müller

Zusammenfassung

In Deutschland betrug der Klinkerfaktor im Zement zuletzt nur noch 67 % – ein historisch niedriger Wert, der die Fortschritte der Branche in Richtung Klimaneutralität unterstreicht. Diese Entwicklung ist bemerkenswert, weil der durchschnittliche Klinkeranteil im Produktportfolio seit mehreren Jahren mehr oder weniger konstant war. Vor allem die Dynamik bei CEM II/C-Zementen (ternäre Zemente mit einem Mindestklinkergehalt von 50 %) hat dazu geführt, dass der Klinkerfaktor nun deutlich vermindert werden konnte. Einen nicht unerheblichen Beitrag für die größere Marktdurchdringung der klinkereffizienten Zemente dürfte die auf der europäischen Betonnorm EN 206 aufbauende deutsche Betonnorm DIN 1045-2:2023-08 leisten. Darin sind neue Anwendungsregeln für klinkereffiziente Zemente definiert worden. Diese Regeln erleichtern den Marktzugang parallel zum Weg der allgemein bauaufsichtlichen Zulassungen (abZ) des DIBt. Letztere haben sich mit Blick auf die Jahre 2024 und 2025 auf mehr als 70 deutlich erhöht – neben der Anwendung von Portlandkompositzementen CEM II/C-M wurden auch Portland-Kalkstein-Hüttenzemente mit sehr niedrigem Klinkerfaktor und hohen Anteilen an ungebranntem Kalkstein sowie die Anwendung eines ersten CEM VI-Zement bauaufsichtlich zugelassen. Klinkereffiziente, klimafreundliche Zemente können in sehr vielen Fällen in allen Expositionsklassen verwendet werden. Letztlich ist das Ziel, den Klinkerfaktor weiter deutlich zu senken, auf etwa 53 % bis 2045. Die Verfügbarkeit entsprechender Klinkersubstitute ist hierbei ein limitierender Faktor. Künftig werden voraussichtlich calcinierte Tone, Kalkstein und auch Recyclingmehle aus Beton- und Mauerwerksbruch eine Rolle spielen. Zudem braucht es die öffentliche Hand als wichtigen Impulsgeber bzw. als Vorbild zur Initiierung grüner Leitmärkte. Hierzu wurde Anfang 2025 das Label „Cement Carbon Class CCC“ veröffentlicht, das den Zementherstellern die Möglichkeit gibt, gegenüber Kunden und bei Ausschreibungen neben den Produkteigenschaften auch den CO₂-Fußabdruck transparent anzugeben. Letzterer wird extern geprüft und durch das Label verifiziert. Einige Label wurden bereits erteilt.

Schlagwörter: Zementhauptbestandteile, Zementarten, Klinkerfaktor, Klimaneutralität, CCC-Label

Abstract

In Germany, the clinker factor in cement recently dropped to just 67 % – a historically low level that underscores the industry's progress toward climate neutrality. This development is remarkable because the average clinker content in the product portfolio had remained more or less constant for several years. The reduction has been driven primarily by the dynamics of CEM II/C cements (ternary cements with a minimum clinker content of 50 %), which have allowed the clinker factor to decrease more noticeably. A significant contribution to the wider market penetration of clinker-efficient cements is likely made by the German concrete standard DIN 1045-2:2023-08, which is based on the European concrete standard EN 206. This standard defines new application rules for clinker-efficient cements, facilitating market access alongside national technical approvals (abZ) by the building authority DIBt. These approvals have increased significantly, exceeding 70 in view of 2024 and 2025. Alongside the use of Portland-composite cements CEM II/C-M, Portland-limestone cements with very low clinker factors and high proportions of uncalcined limestone, as well as the first CEM VI cement, have been granted building authority approval. Clinker-efficient, climate-friendly cements can now be used in many cases across all exposure classes. Ultimately, the goal is to reduce the clinker factor further, aiming for approximately 53 % by 2045. The availability of suitable clinker substitutes remains a limiting factor. In the future, calcined clays, limestone, and recycled powders from concrete and masonry waste are expected to play a role. Moreover, public authorities are needed as important drivers and role models to initiate green lead markets. To this end, in early 2025 the "Cement Carbon Class (CCC)" label was introduced, enabling cement manufacturers to transparently communicate not only product properties but also the CO₂ footprint to customers and in tenders. The CO₂ footprint is externally verified and confirmed by the label, and several labels have already been awarded.

Keywords: Cement types, clinker factor, climate neutrality, CCC-label, supplementary cementitious materials (SCM)

1 Zementartenentwicklung

Klinkereffiziente Zemente kommen in Deutschland seit vielen Jahren zum Einsatz. Als Hauptbestandteile werden neben Portlandzementklinker Hüttensand (S), natürliches Puzzolan (P), hierbei handelt es sich im Wesentlichen um Trass, kieselsäurereiche Flugasche (V), gebrannter Schiefer (T) und Kalkstein (LL) eingesetzt. Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der vergangenen Jahre. Demnach werden verstärkt Portlandkompositzemente (CEM II) sowie Hochofenzemente (CEM III) hergestellt und verwendet. Demgegenüber steht eine Reduzierung des Versandes von Portlandzementen (CEM I), deren Anteil am inländischen Zementversand sich von über 60 % Ende der 1990er Jahre auf ca. 24 % mehr als halbiert hat. Bis etwa 2003 enthielten CEM II-Zemente ebenso wie CEM III einen weiteren Hauptbestandteil neben Klinker. CEM II/A haben einen Mindestklinkeranteil von 80 %, CEM II/B einen Mindestklinkeranteil von 65 %. In CEM II-Zementen können alle o. g. Hauptbestandteile neben Portlandzementklinker verwendet werden, in Hochofenzementen mit Mindestklinkergehalten bis zu 20 % nur Hüttensand. Ab 2003 wurden auch ternäre Zemente CEM II-M mit zwei weiteren Hauptbestandteilen neben Portlandzementklinker hergestellt. Seit der Veröffentlichung der CO₂-Roadmap des VDZ im Jahr 2020 haben Portlandkompositzemente CEM II/M weiter an Bedeutung gewonnen. Der Marktanteil stieg von 6,5 % in 2019 auf 16 % in 2024. Davon entfielen schätzungsweise 790.000 Tonnen auf die neuen CO₂-reduzierten CEM II/C-M-Zemente mit einem Mindestklinkergehalt von 50 %. Künftig wird eine weitere Verschiebung des Marktes hin zu noch klinkereffizienteren Zementen wie z. B. CEM II/C-M mit einem Mindestklinkergehalt von 50 % bzw. CEM VI mit einem Mindestklinkergehalt von 65 % angestrebt und der durchschnittliche Anteil des Zementklinkers im Zement soll von heute 67 % auf etwa 53 % in 2045 gesenkt werden.

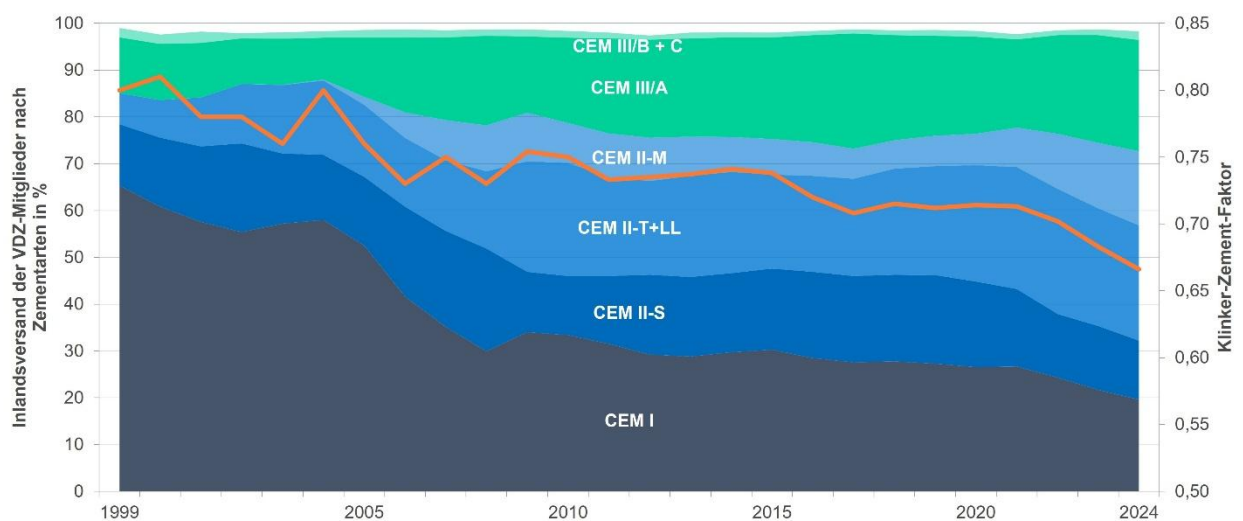


Abb. 1: Entwicklung des Zementportfolios und des Klinkerfaktors in Deutschland von 1999 bis 2024 (Quelle: VDZ)

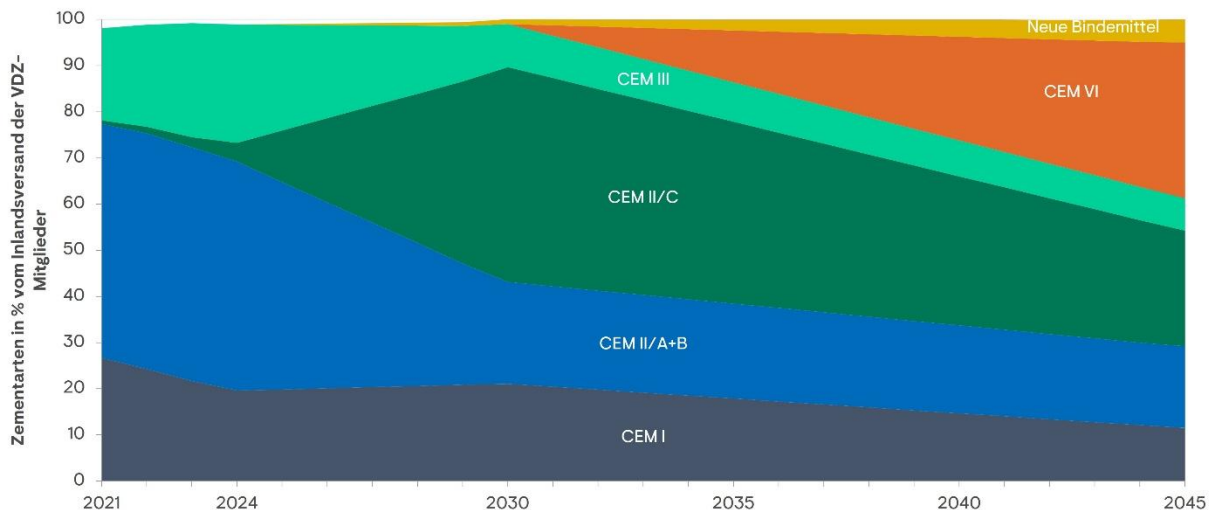


Abb. 2: Produktportfolio auf dem Weg in die klimaneutrale Zukunft gemäß VDZ-Roadmap (Quelle: VDZ)

2 Umweltproduktdeklaration (EPD) für Zemente

Als Grundlage für die Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden werden Informationen über die Umweltwirkungen der verwendeten Bauprodukte immer wichtiger. Diese Daten wurden von den Herstellern der Bauprodukte bisher bevorzugt im genormten Format der sogenannten Umweltproduktdeklaration (engl. Environmental Product Declaration, EPD) bereitgestellt. In einer EPD weisen Produkthersteller ökobilanzbasierte Indikatoren wie z. B. die Nutzung von Ressourcen und den Beitrag zum Treibhauseffekt aus und lassen sie von unabhängiger Seite prüfen. Der VDZ hat bisher fünf Umweltproduktdeklarationen für Zement erarbeitet und extern verifizieren lassen.

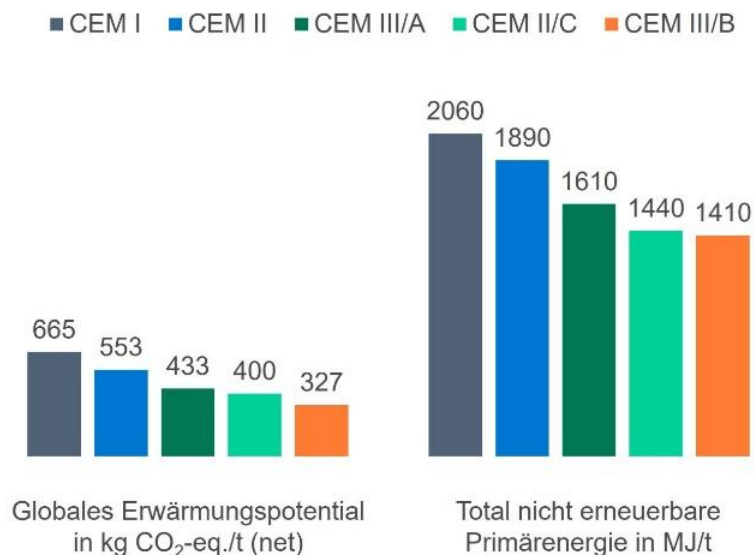


Abb. 3: Globales Erwärmungspotential und nicht erneuerbare Energie bei Herstellung einer Tonne Zement (deutsche „Durchschnitts“-Werte) (Quelle: IZB/VDZ)

Grundlage der EPDs war die Auswertung von Produktionsdaten der VDZ-Mitgliedsunternehmen aus dem entsprechenden Zeitraum bzw. die Annahmen zur Zusammensetzung der Zemente. Abbildung 3 zeigt im Vergleich Werte des Global Warming Potentials (GWP) und des Bedarfs nicht erneuerbarer Energie für einen

mittleren deutschen Portlandzement CEM I, einen deutschen Durchschnittszement (CEM II), einen Hochofenzement CEM III/A mit 50 % Hüttensand, einen CEM II/C mit 50 % Klinker, 30 % Hüttensand und 20 % ungebrannten Kalkstein sowie einen CEM III/B. Die Zusammensetzung des CEM II entsprach der durchschnittlichen Zusammensetzung der in Deutschland im Jahr 2020 produzierten Zemente. Sind genauere Werte (einzelne Zemente eines Herstellers bzw. Werkes) notwendig, können entsprechende Ökobilanzen für Zemente durch die VDZ Technology gGmbH erstellt werden.

3 Technische Eigenschaften und Anwendung

3.1 Allgemeines

Für die am Bau Beteiligten spielen zunächst die Verarbeitbarkeit und die Festigkeitsentwicklung des eingesetzten Betons eine zentrale Rolle im Bauablauf. Als wichtiges Nachhaltigkeitselement steht dann die Dauerhaftigkeit des Bauwerkes im Mittelpunkt. Mit diesen beiden Themen befassten sich u. a. zwei IGF-Forschungsvorhaben des VDZ, die 2025 zum Abschluss gebracht wurden.

3.2 Frischbetoneigenschaften und Festigkeitsentwicklung

Die Art des eingesetzten Zements und seine Interaktion mit den verwendeten Betonzusatzmitteln haben Einfluss auf die Frischbetonkonsistenz, die Mischungsstabilität und das Ansteifverhalten. Die Betonzusammensetzung und die Ausgangsstoffe für Beton nach Eigenschaften oder Beton nach Zusammensetzung müssen gemäß DIN 1045-2:2023-08 so ausgewählt werden, dass unter Berücksichtigung des Herstellungsverfahrens und des gewählten Ausführungsverfahrens für die Betonarbeiten die festgelegten Anforderungen an Frischbeton und Festbeton einschließlich Konsistenz, Rohdichte, Festigkeit und Dauerhaftigkeit erfüllt werden. Für die Einhaltung dieser Anforderungen sind für Betone ab der Konsistenzklasse F3 und ab der Festigkeitsklasse C25/30 entweder die Mindestwerte der Zusammensetzung (Mindest-Leimgehalt) einzuhalten oder alternativ eine erweiterte Erstprüfung durchzuführen. Werden diese Eckpunkte eingehalten, ist das Ansteifverhalten identisch zusammengesetzter Betone mit verschiedenen Zementen qualitativ vergleichbar (Abbildung 4).

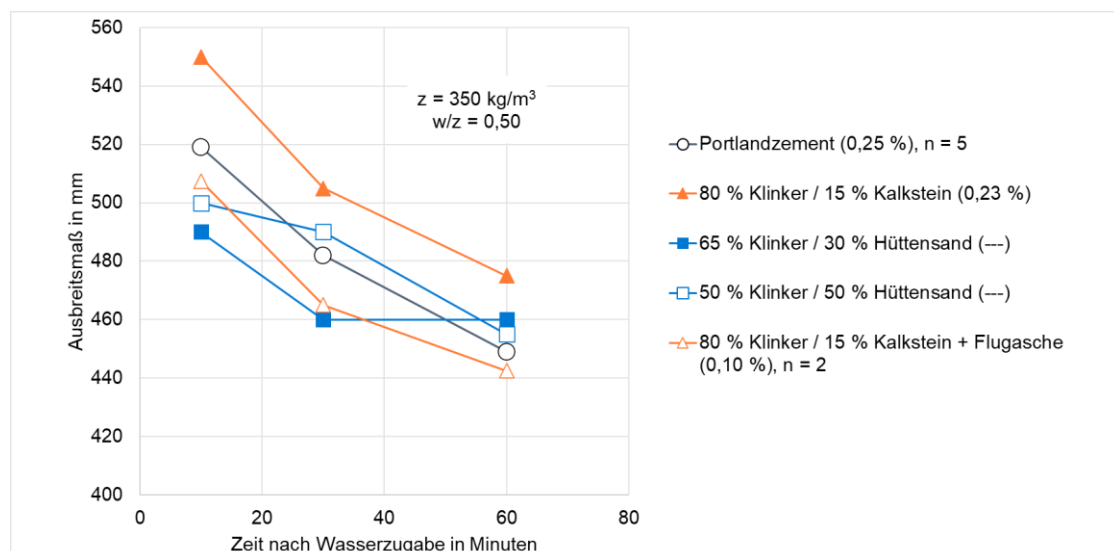


Abb. 4: Beispiele für das Ansteifverhalten von Betonen mit unterschiedlich zusammengesetzten Zementen (Klammerwerte = Fließmitteldosierung in % v. Z.) – Gesteinskörnung: Rheinkies (Quelle: VDZ)

Unterschiede in der Ausgangskonsistenz in Abbildung 4 waren unter anderem auch durch den Wasserhaushalt der Gesteinskörnung gegeben, der wiederum die Betonzusatzmitteldosierung beeinflusste. Schack und

Haist weisen in [1] auf Untersuchungen und Literaturstudien hin, die zeigen, dass bei Verwendung von ternären klinkereffizienten Zementen übliche Konsistenzen eingestellt werden können [2, 3, 5].

Das Wasserabsondern der Betone nach DBV-Merkblatt blieb in den Untersuchungen im VDZ in der Regel unter $2,0 \text{ kg/m}^3$, dem Richtwert für befahrbare Bauteile. Die Sedimentation der groben Gesteinskörnung nach BAW-Merkblatt (MESB) war überwiegend gering. Beispielhaft wurde in [1] die maximale Wasserabsonderung von Betonzusammensetzungen mit unterschiedlichen Zementarten in Abhängigkeit vom w/z-Wert dargestellt (siehe Abbildung 5). Das Wasserrückhaltevermögen der Betone wurde mit dem Bluteimerversuch in Anlehnung an [4] geprüft. Abweichend davon wurde die Verdichtungsenergie unabhängig von der Konsistenz der Betone konstant beibehalten (Befüllung zweilagig; Verdichtung je Lage 15 s bei 4500 U/min). Aus den Untersuchungsergebnissen wurde ersichtlich, dass erwartungsgemäß sowohl der w/z-Wert bzw. der Wassergehalt als auch die Zementart das Wasserrückhaltevermögen der Betone beeinflussen. Im Vergleich der ternären Zemente mit Steinkohlenflugasche (V) und Kalkstein (LL) mit unterschiedlichen Substitutionsraten (CEM II/A $\rightarrow$ CEM II/B $\rightarrow$ CEM II/C) in Abbildung 5 (rechts) zeigt sich, dass mit zunehmender Substitutionsrate die maximale Wasserabsonderung bei jeweils konstantem w/z-Wert deutlich abnimmt.

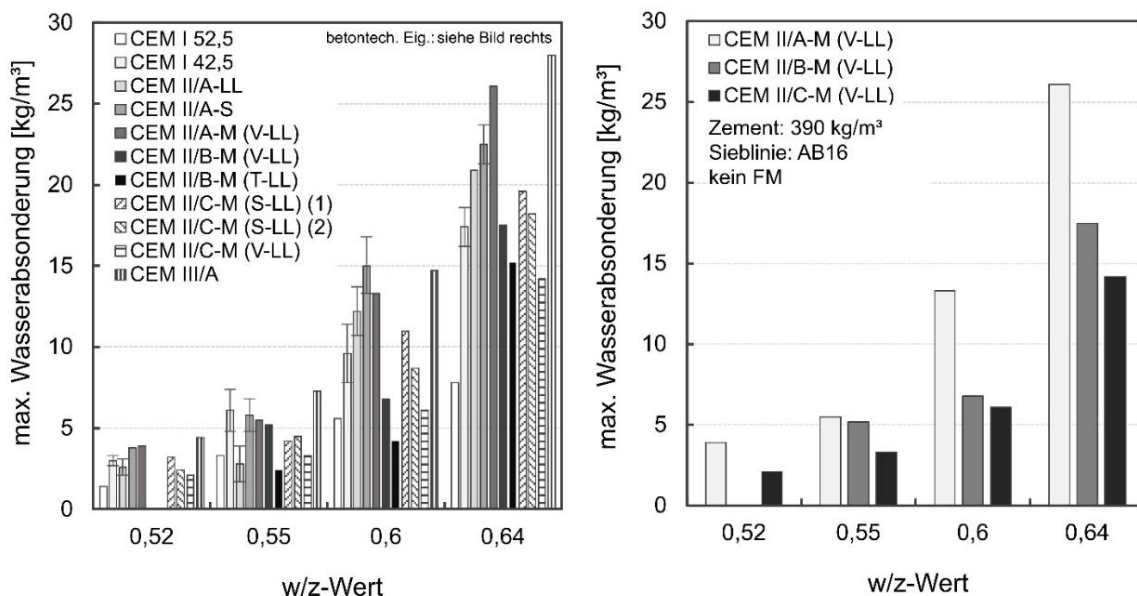


Abb. 5: Maximale Wasserabsonderung (ermittelt mit dem Bluteimer-Versuch [4]) von Betonen (Zementgehalt: 345 kg/m^3 (konstant); A/B 16 natürliche Gesteinskörnung, Wesersand, Rundkorn; keine verflüssigenden Beton-zusatzmittel) mit unterschiedlichen Zementarten in Abhängigkeit vom w/z-Wert (links) und maximale Wasserabsonderung mit unterschiedlichen ternären Zementen mit Steinkohlenflugasche (V) und Kalksteinmehl (LL) in Abhängigkeit vom w/z-Wert (rechts) [1]

Im weiteren Bauablauf spielt die Festigkeitsentwicklung eine zentrale Rolle. Abbildung 6 zeigt Beispiele für die Festigkeitsentwicklung (Wertebereiche) von Betonen mit unterschiedlich zusammengesetzten Zementen (Quelle: VDZ). Bei den jeweiligen Maximalwerten zeigen sich sinkende Frühfestigkeiten und zunehmende Nacherhärtung mit abnehmendem Klinkergehalt.

Die Festigkeitsentwicklung bestimmt den Nachbehandlungsbedarf. In einem der jüngeren Forschungsprojekte des VDZ wurde auf der Grundlage der Festigkeitsentwicklung zwischen 18 h und 91 d die Mindestdauer der Nachbehandlung für das Erreichen von 50 % der charakteristischen Festigkeit ermittelt. Die Ergebnisse belegten, dass die Mindestdauern der Nachbehandlung nach DIN 1045-3 zwingend bauseitig umgesetzt werden müssen.

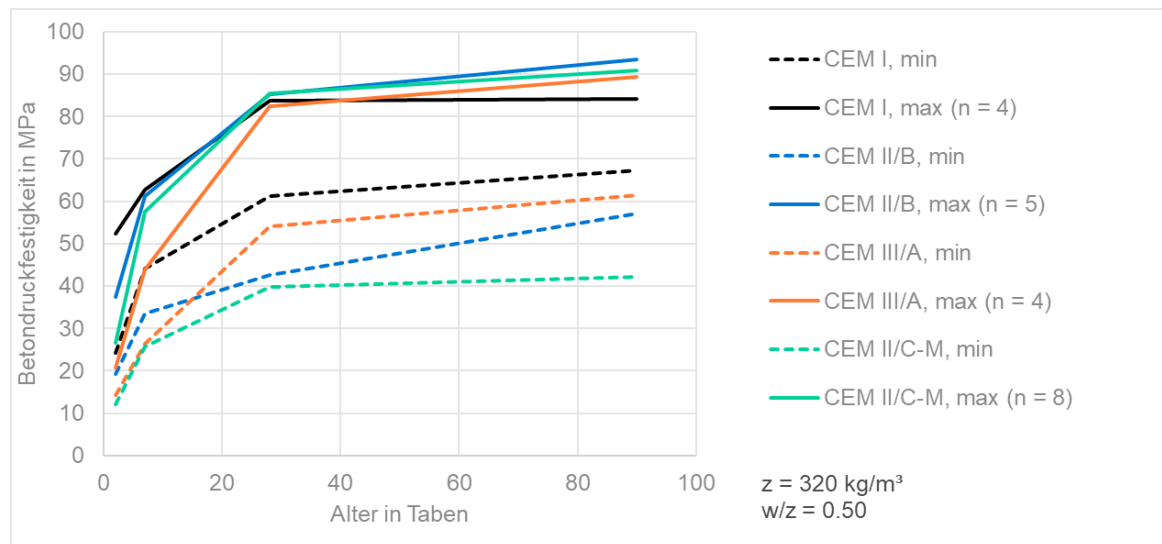


Abb. 6: Beispiel für die Festigkeitsentwicklung (Wertebereiche) von Betonen mit unterschiedlichen Zementarten (Quelle: VDZ)

3.3 Dauerhaftigkeit

3.3.1 Karbonatisierungsgeschwindigkeit

In vielen Bereichen des Stahlbetonbaus ist der Karbonatisierungswiderstand des Betons ein zentrales Leistungsmerkmal. Abbildung 7 zeigt die Karbonatisierungstiefe bei unterschiedlicher Vorlagerung für einige CEM II/C-M und CEM VI-Zemente vor dem Bewertungshintergrund in Zulassungsverfahren.

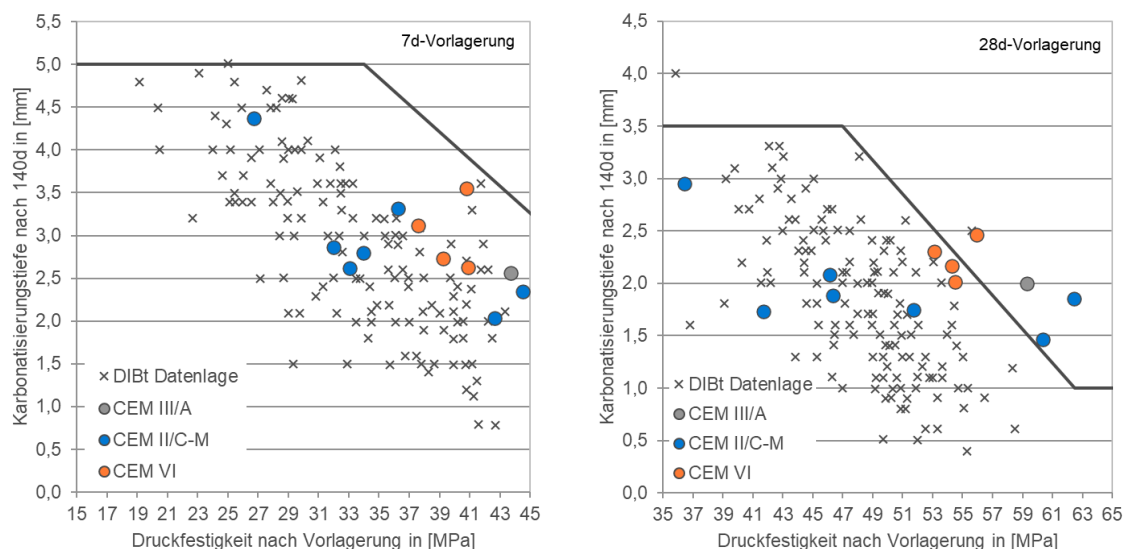


Abb. 7: Karbonatisierungstiefe bei unterschiedlicher Vorlagerung für verschiedene CEM II/C-M und CEM VI-Zemente vor dem Bewertungshintergrund in Zulassungsverfahren (= DIBt Datenlage) – Quelle: VDZ

Zemente, die sich in diesen Bewertungshintergrund einordnen, werden bauaufsichtlich zugelassen für die Anwendung in allen Expositionsklassen XC. Dabei müssen die Werte unterhalb der Grenzkurven liegen. In Zulassungsverfahren traten zuletzt, wie in Abbildung 7 rechts, Fälle auf, in denen bei der längeren Vorlagerung die Festigkeit stärker anstieg als die Karbonatisierungstiefe abnahm. Hier wurden geringfügige Überschreitungen der Grenzlinie zugelassen. Der Bewertungshintergrund in Zulassungsverfahren (= DIBt Datenlage) zeigt dabei eine große Bandbreite der Karbonatisierungsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der

Zementart. Dies führt entsprechend den deskriptiven Regeln der DIN 1045:2023-08 nicht zu einer Differenzierung in der Anwendung. Die Grenzrezepturen der DIN 1045-2:2023-08 unterscheiden sich ebenso wenig wie die Mindestbetondeckungen der DIN 1045-1:2023-08. Anders sein kann dies im leistungsbezogenen System der Expositionswiderstandsklassen nach [6] bzw. [7]. Dies zeigten die Auswertung des VDZ in [8] ebenso wie die Studie von Hermerschmidt in [9]. Die Expositionswiderstandsklassen XRC5 bis 11 in Abbildung 8 werden erreicht in entsprechenden Kombinationen aus der Zementart und dem äquivalenten Wasserzementwert. Die Auswertung des VDZ in [8] enthält Angaben zu Betonzusammensetzungen, die diese Werte einhalten.

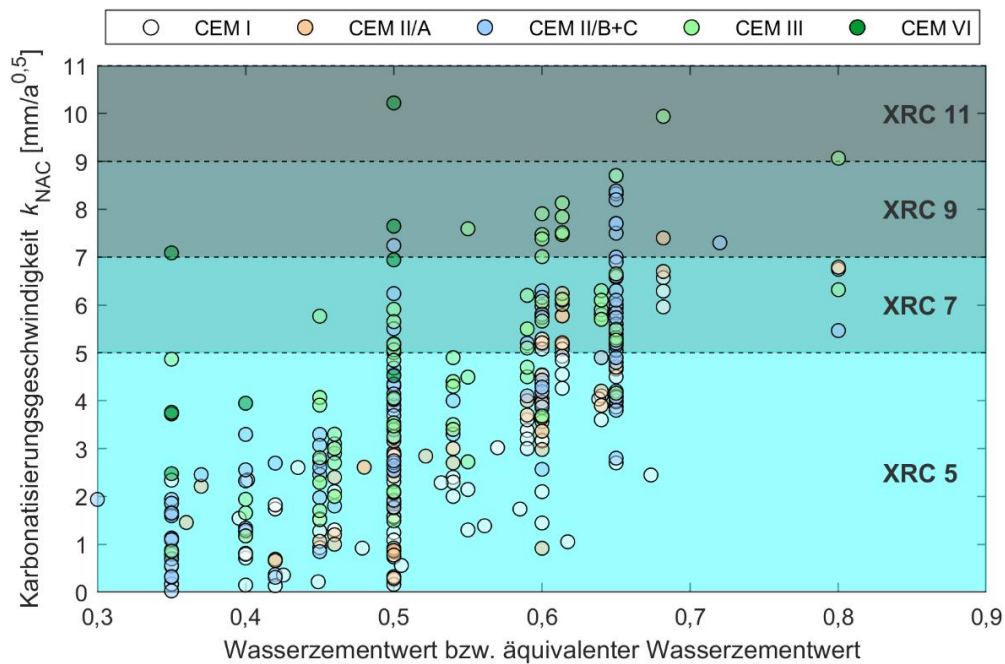


Abb. 8: Zusammenhang zwischen Wasserzementwert bzw. äquivalentem Wasserzementwert und Karbonatisierungsrate, DAfStb UA Dauerhaftigkeit D333 [9]

In Abhängigkeit von Nutzungsdauer und Nachbehandlungsklasse wählt der Planer dann die Betondeckung oder umgekehrt. Markiert in Tabelle 1 sind die Kombinationen für XC3 und XC4, so wie sie heute für 50 Jahre Nutzungsdauer und Nachbehandlungsklasse 3 in der Normenreihe DIN 1045:2023-08 festgelegt sind. Die Betone müssen für XC3 mindestens XRC9 und für XC4 mindestens XRC7 erfüllen, wenn die Mindestbetondeckung nicht verändert werden soll. In XC4 wäre die Mindestbetondeckung $c_{\min, \text{dur}}$ im Vergleich zur aktuellen Situation um 10 mm zu erhöhen, wenn Betone der Klasse XRD10 verwendet werden. Die Mindestbetondeckung $c_{\min, \text{dur}}$ kann um 10 mm vermindert werden, wenn Betone der Klasse XRD5 zur Verfügung stehen.

Tab. 1: Veränderung der Mindestbetondeckung $c_{\min, \text{dur}}$ bei Anwendung der ERC-Richtlinie im Vergleich zum Dauerhaftigkeitskonzept nach DIN 1045-2:2023-08 / DIN EN 1992-1-1+NA (Nachbehandlungsklasse 3) [9]

Expositionswiderstands- klasse	Veränderung der Mindestbetondeckung $c_{\min, \text{dur}}$ in mm			
	XC1	XC2	XC3	XC4
XRC5	0	-5	-5	-10
XRC7	0	-5	-5	0
XRC9	0	0	0	+5
XRC10	0	+5	+5	+10

Abbildung 9 zeigt, wie THG-Emissionen (links) und Klinkerfaktor (rechts) als Funktion der Karbonatisierungsrate in Verbindung stehen. Es handelt sich somit um eine Optimierungsaufgabe. Die Autoren in [1] stellen fest, dass mit abnehmenden spezifischen THG-Emissionen eine stetige Zunahme der Karbonatisierungsrate erkennbar ist. Betone mit CEM I weisen mit bis zu 500 kg CO₂ / m³ die höchsten THG-Emissionen und gleichzeitig die geringste Karbonatisierungsrate von unter 1,0 mm / a^{0,5} auf. Der Einsatz ternärer klinkereffizienter Zemente führt unabhängig von den Ausgangsstoffen (Hüttensand, Flugasche und Kalkstein) zur Reduktion der THG-Emissionen, verbunden mit einer deutlichen Zunahme der Karbonatisierungsrate.

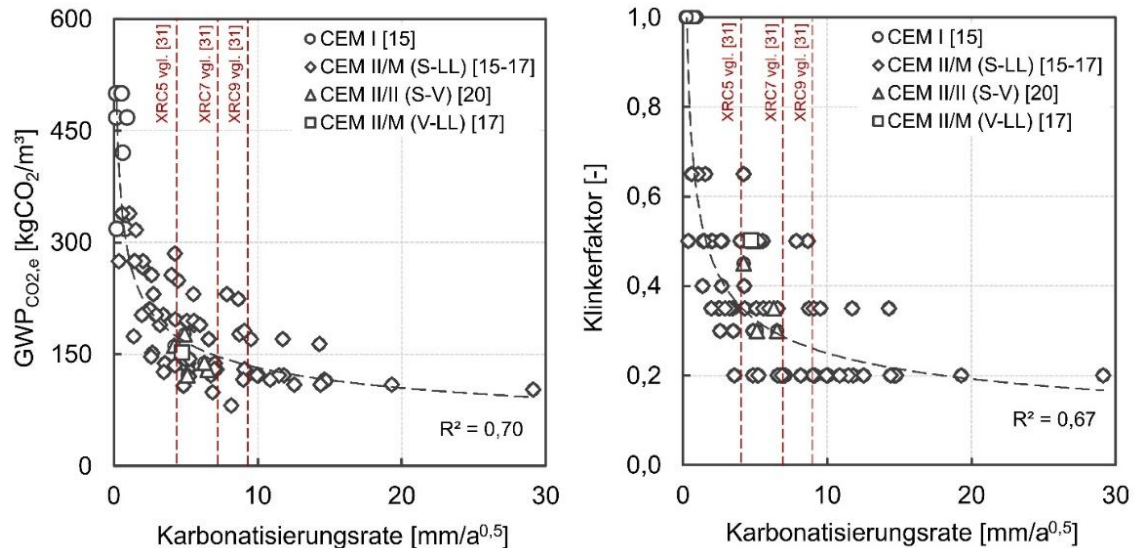


Abb. 9: THG-Emissionen (links) und Klinkerfaktor (rechts) als Funktion der Karbonatisierungsrate – Quelle: [1] (Quellenangaben im Bild beziehen sich auf die Quellenangaben in [1])

Neben der Substitution des Klinkers sind jedoch weitere betontechnologische Parameter für die resultierende Karbonatisierungsrate entscheidend. Dies ist in Abbildung 9 (rechts) deutlich an der großen Bandbreite der Werte für die Karbonatisierungsrate bei konstantem Klinkerfaktor ersichtlich. So weisen die Betone z. B. bei einem konstanten Klinkerfaktor von 0,35 Karbonatisierungsraten in einem Wertebereich von 1,1 bis 11,5 mm / a^{0,5} auf.

3.3.2 Chlorideindringwiderstand

Für die Expositionsklassen XD2 und XS2 müssen Betone in Deutschland mindestens einen Zementgehalt von 320 kg / m³, einen Wasserzementwert von höchstens w/z = 0,50 sowie eine Mindestdruckfestigkeitsklasse C35/45 aufweisen. Von Betonen dieser Zusammensetzung wurden in verschiedenen ausgewerteten Literaturstellen die Chlorideindringwiderstände gemäß BAW-Merkblatt „MDCC“ bestimmt. Die Chloridmigrationskoeffizienten sind in Abbildung 10 dargestellt. In allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (abZ) beträgt das Beurteilungskriterium 25 x 10⁻¹² m² / s. Betone mit Portlandzement CEM I bzw. CEM II/B-LL liegen zum Teil grenzwertig oder auch oberhalb des Zulassungskriteriums. Bei einem Anteil von Hüttensand, Flugasche oder calcinierten Tonen zwischen 30 und 45 % in CEM II/C bzw. CEM VI-Zementen sind zudem die erhöhten Anforderungen des Wasserbaus an den Chlorideindringwiderstand (Beurteilungskriterium 10 x 10⁻¹² m² / s) erreichbar.

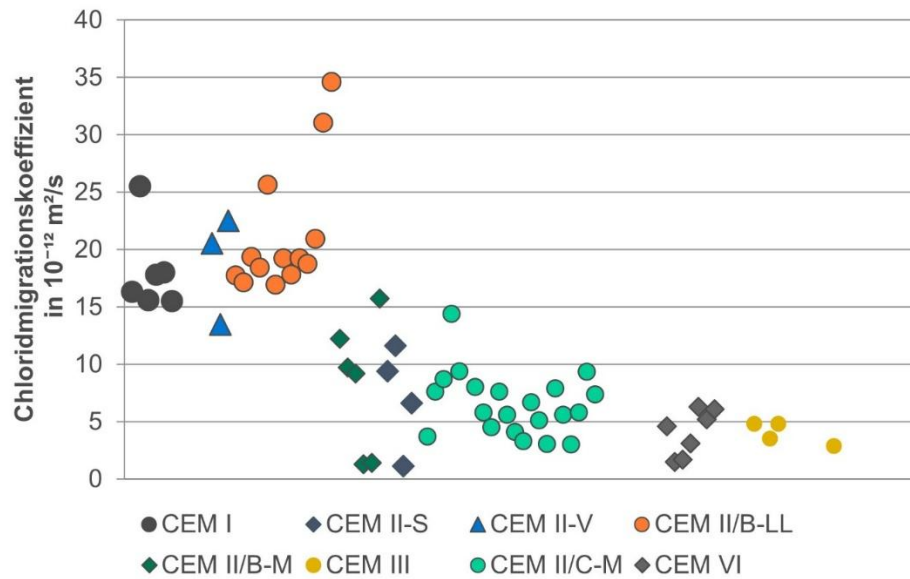


Abb. 10: Chlorideindringwiderstand von Betonen mit einem Zementgehalt von 320 kg / m³ und einem Wasserzementwert w/z = 0,50 – Quelle: VDZ

3.3.3 Frost- und Frosttausalz-Widerstand

Die Betonnorm DIN 1045-2:2023-08 enthält die Anwendungsregeln für die Zemente in Abhängigkeit der Expositionsklassen. Tabelle 2 zeigt die Anwendungsregeln für ausgewählte Zemente und verdeutlicht vier Gruppen:

- Zemente für alle Expositionsklassen
- Zemente für alle Expositionsklassen außer XF2 und XF4 (Frostangriff mit Tausalzen)
- Zemente für alle Expositionsklassen außer XF2, XF3 und XF4 (Frostangriff mit Tausalzen bzw. Frostangriff ohne Tausalz mit hoher Wassersättigung)
- Innenbauteilzemente bzw. Bauteile ohne Bewehrung (X0, XC1 trocken, XC2)

Tab. 2: Anwendungsregeln ausgewählter Zemente in DIN 1045-2:2023-08

Expositionsklassen X = gültiger Anwendungsbereich O = für die Herstellung nach dieser Norm nicht anwendbar	Kein Korrosions-/ Angriffsrisiko	Bewehrungskorrosion											Betonangriff											Spannstahlverträglichkeit
		durch Karbonatisie- rung verursachte Korrosion	durch Chloride verursachte Korrosion						Frostangriff	Aggressive chemische Umgebung	Verschleiß													
			andere Chlo- ride als Meerwasser			Chloride aus Meerwasser																		
	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	XM1	XM2	XM3			
CEM I CEM II/A (S, T, V, LL); CEM II/A-M (S, LL, T, V) CEM II/B (S, T, V); CEM II/B-M (S, T, V) CEM III/A ¹⁾ , CEM III/B ¹⁾ CEM V/A (S-V) ¹⁾ , CEM VI (S-V) ¹⁾	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
CEM II/A (P, Q); CEM II/B (P, Q) CEM II/A-M (S-Q, D-Q, P-Q, Q-V, Q-T, Q-LL) CEM II/B-M (S-Q, D-Q, P-Q, Q-V, Q-T) CEM VI (S-P)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	O	X	O	X	X	X	X	X	X ²⁾			
CEM II/B-M (S-LL, V-LL, T-LL) ³⁾ CEM II/C-M (S-LL) ⁴⁾	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	O	O	O	X	X	X	X	X	X			
CEM II/B-M (S-LL; D-LL; P-LL; Q-LL; V-LL; T-LL) CEM VI (S-LL) ⁴⁾	X	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O			
1) besondere Anwendungsregel in XF4 2) Zemente, die P bzw. Q enthalten, sind ausgeschlossen, da sie bisher für diesen Anwendungsfall nicht überprüft wurden. 3) Der zulässige Kalksteingehalt der Zemente (S-LL), (V-LL) und (T-LL) ist auf 20 M.-% begrenzt. Die Einhaltung des maximal zulässigen Kalksteingehaltes ist durch den Hersteller des Zements zu erklären 4) CEM II/C, CEM VI: Kalksteingehalt bereits in der Zementnorm EN 197-5 auf 20 % begrenzt 5) Zemente, die V enthalten, nur mit Flugaschen mit bis zu 5 % Glühverlust																								

In den Fällen, in welchen eine Anwendung des Zements nach Norm nicht erlaubt ist, kann der Nachweis der Eignung für die Anwendung in den entsprechenden Expositionsklassen durch eine abZ für die Anwendung des Zements durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) erbracht werden. Auf der Internetseite des Deutschen Instituts für Bautechnik kann eingesehen werden, für welche Zemente allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen für bestimmte Expositionsklassen vorliegen (siehe auch https://www.dibt.de/fileadmin/verzeichnisse/NAT_n/SVA_3.pdf). Tabelle 3 zeigt solche Zulassungen.

Tab. 3: Allgemeine bauaufsichtliche Anwendungszulassungen abZ für Portlandkompositzemente – Stand August 2025

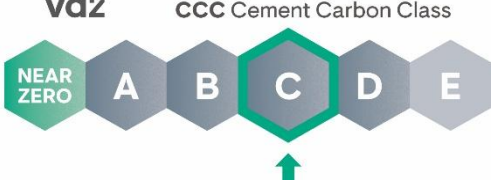
Zementart	Anzahl	Expositionsklassen	min K / max LL in %
CEM II/B-M	29	alle	65/20
CEM II/C (ohne F als HB)	18	alle	50/20
CEM II/C + FA	2	alle ¹⁾	
CEM IV und CEM V	4		40/0
Zemente mit F (NB) ²⁾	6	alle	95-35/0-20
Zemente mit F (HB) ²⁾	8 ³⁾	alle	80-50/20
Zemente mit F (HB) + FA	6/8 ³⁾		
CEM II/C	8	alle außer XF2, XF3, XF4	50/20
CEM II/C + FA	11/21		
CEM VI	1	alle außer XF2, XF3, XF4	35/20
CEM X	2	alle außer XF2, XF3, XF4, XA2/3, XM2/3	35/37

Somit können klinkereffiziente, klimafreundliche Zemente in sehr vielen Fällen in allen Expositionsklassen verwendet werden.

4 Cement Carbon Class CCC

Anfang 2025 wurde das Label „Cement Carbon Class CCC“ veröffentlicht, das den Zementherstellern die Möglichkeit gibt, gegenüber Kunden und bei Ausschreibungen neben den Produkteigenschaften auch den CO₂-Fußabdruck transparent anzugeben. Letzterer wird extern geprüft und durch das Label verifiziert. Einige Label wurden bereits erteilt. Eine ausführliche Darstellung der Hintergründe und der Herleitung der Klassifizierung der Zemente nach ihrem CO₂-Fußabdruck erfolgte z. B. in [10, 11]. Der Stand der Labelvergabe zum Januar 2026 war wie in Tabelle 4 angegeben.

Tab. 4: Erteilte bzw. beantragte CCC-Zertifikate Stand Januar 2026 – sortiert nach Klassen und Werkstandorten
(Quelle: VDZ))

Klasse		Anzahl	Zementarten
B		2	CEM III/B 42,5 N-LH/SR (na) – Werk 1 CEM III/B 42,5 L-LH/SR – Werk 4
C		5	CEM III/A 32,5 N-LH – Werk 2 CEM II/C-M (S-LL) 42,5 N – Werk 1 CEM III/A 32,5 N, CEM III/A 42,5 N (f) – Werk 3 CEM II/C-M (S-LL) 42,5 N – Werk 4
D		5	CEM II/B-S 42,5 N und CEM II/B-M (S-LL) 42,5 N (az) – Werk 2 CEM II/B-S 42,5 N und CEM II/B-M (S-LL) 42,5 N (az) – Werk 1 CEM II/B-S 42,5 N – Werk 3
Weitere 7 Zertifikate wurden beantragt; die Anträge werden zurzeit geprüft			

5 Literatur

- [1] Schack, T., Haist, M. (2025) Betone mit ternären klinkereffizienten Zementen Review der mechanischen Leistungsfähigkeit und Dauerhaftigkeit unter Berücksichtigung der THG-Emissionen. Berlin. Beton- und Stahlbetonbau, Vol. 120 , Heft 1, Ernst & Sohn GmbH, Berlin, pp. 2-11
- [2] Müller, C., Palm, S. (2020) Anwendung klinkereffizienter Zemente. Newsletter Technik Heidelbergcement, Vol. 33, pp. 12-23
- [3] Schack, T., Strybny, B., Deiters, M., Haist, M.(2023) Concrete with clinker-efficient cements – robustness to variations in water content and temperature. ce/papers, Vol. 6, pp. 163-171.
- [4] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e. V. (2014) DBV-Merkblatt: Besondere Verfahren zur Prüfung von Frischbeton. Beuth Verlag, Berlin
- [5] Palm, S., Müller, C., Proske, T., Rezvani, M., Graubner, C. A. (2019) Concrete application of clinker-efficient cements. Advances in Cement Research, Vol. 31, Heft 5, pp. 225-234
- [6] Deutsches Institut für Normung (2025) DIN EN 1992-1-1:2025-09: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2023. DIN Media GmbH, Berlin
- [7] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (2025) ERC-Richtlinie, Entwurf Stand Oktober 2025 gemäß DAfStb UA Dauerhaftigkeit D350
- [8] Müller, C., Palm, S. (2024) Dauerhaftigkeit von Beton – Konzepte heute und morgen insbesondere am Beispiel der Carbonatisierung. Beton, Vol. 74, Heft 5, 7-8, pp. 196-203 und pp. 304-311
- [9] Hermerschmidt, W. (2025) Wissenschaftliche Studie zur Ermittlung des CO₂-Reduktionspotenzials durch das deutsche ERC-Konzept – DAfStb UA Dauerhaftigkeit D333. DAfStb Schriftenreihe, Vol. 666
- [10] Müller, C. (2025) Weiterentwicklung emissionsreduzierter, klimafreundlicher Zemente – Technische Eigenschaften, Zulassung und Regelwerke. In Nolting, U., Dehn, F. Denu, M. (Hrsg.) Klimaeffizientes Bauen – Baustoffe und Bauweisen, 21. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, pp.1-14
- [11] Reiners, J.; Müller, C.; Mohr, M. (2025) Ökologische Bewertung: Von der EPD bis zum CO₂-Label. In Nolting, U, Dehn, F., Denu, M. (Hrsg.) Klimaeffizientes Bauen – Baustoffe und Bauweisen, 21. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, pp. 15-23

6 Autoren

Prof. Dr.-Ing. Christoph Müller

VDZ Technology gGmbH

Toulouser Allee 71

40476 Düsseldorf

christoph.mueller@vdz-online.de

Kompatibilität von Betonzusatzmitteln mit klinkerarmen Bindemitteln – Praxisprobleme und Lösungsansätze

Torben Gädt und Joachim Dengler

Zusammenfassung

Betonzusatzmittel sind eine Schlüsseltechnologie für die Herstellung klinkerreduzierter Betone. Sie erlauben eine signifikante Senkung des Wasserzementwerts (w/z-Wert) und ermöglichen so eine Reduktion des Bindemittelgehalts sowie der damit verbundenen CO₂-Intensität. Der Einsatz neuartiger SCMs (Supplementary Cementitious Materials) wie kalzinierter Tone stellt die Betontechnologie jedoch vor neue Herausforderungen: Im Vergleich zu klassischen Stoffen wie Hüttensand oder Flugasche weisen diese eine deutlich höhere spezifische Oberfläche auf. Dies resultiert in einem erhöhten Fließmittelbedarf und einem beschleunigten Konsistenzverlust. Da letzterer eng mit der frühen Hydratationskinetik verknüpft ist, liegt ein Fokus aktueller Forschung auf der präzisen Steuerung der frühen Hydratation. Neben der komplexen Rheologie erfordern hohe Klinkersubstitutionsgrade zudem Lösungen für die meist geringe Frühfestigkeit. Moderne Beschleunigertechnologien sind hier geeignet, um die Leistungsfähigkeit nachhaltiger Bindemittelsysteme zu optimieren, haben ihr volles Potential noch nicht ausgeschöpft.

Schlagwörter: Betonzusatzmittel, klinkerreduzierter Beton, Fließmittelbedarf, Rheologie, Frühfestigkeit

Abstract

Concrete admixtures are a key technology for the production of clinker-reduced concretes. They enable a significant reduction of the water-cement ratio (w/c ratio), thereby allowing a lower binder content and a corresponding reduction in CO₂ intensity. However, the use of novel SCMs (supplementary cementitious materials) such as calcined clays poses new challenges for concrete technology. Compared with conventional materials like ground granulated blast-furnace slag or fly ash, these materials exhibit a much higher specific surface area. This leads to an increased demand for superplasticizers and to accelerated loss of workability. Since the latter is closely linked to early hydration kinetics, current research focuses on the precise control of early hydration. In addition to complex rheological behaviour, high clinker substitution levels also require solutions to address the typically low early strength. Modern accelerator technologies are well-suited to optimize the performance of sustainable binder systems, but their full potential has not yet been fully exploited.

Keywords: Concrete admixture, clinker-reduced concrete, superplasticizer demand, rheology, early strength

Einleitung

Betonzusatzmittel sind chemische Verbindungen, deren Zweck in der Verbesserung der Betoneigenschaften besteht. Ihre Zugabe erfolgt in der Regel in geringen Mengen, typischerweise im Bereich weniger Kilogramm pro Kubikmeter. Die Chemie der Zusatzmittel wurde bereits mehrfach in Übersichten dargestellt (vgl. [1]). Die Betonzusatzmittel werden für verschiedene Zwecke eingesetzt, darunter die Reduktion des Wasseranteils, die Veränderung der Konsistenzklasse des Betons, die Verhinderung der Sedimentation, die innere Nachbehandlung, die Beschleunigung oder Verlangsamung des Abbindevorgangs und der Festigkeitsentwicklung von Beton, die Erhöhung der Frost-Tau-Beständigkeit und vieles mehr.

Unter den Betonzusatzmitteln nimmt die Klasse der Fließmittel eine besondere Stellung ein. Fließmittel sind Dispergiermittel, die dazu dienen, den Wassergehalt von Frischbeton zu reduzieren und dessen Konsistenzklasse zu erhöhen. Fließmittel ermöglichen demzufolge eine Reduktion des Zementgehalts. Da Zement den CO_2 -intensivsten Bestandteil von Beton bildet, ist die durch Fließmittel erzielte Reduktion des Zements ein wichtiges Instrument für die Entwicklung von Betonmischungen mit geringem Zement- und CO_2 -Gehalt.

Gegenwärtig werden zahlreiche Projekte zur Entwicklung von Betonen mit niedrigem CO_2 -Fußabdruck oder sogar mit einer Net-Zero- CO_2 -Bilanz durchgeführt. Die kurz- bis mittelfristig bedeutendste Säule dieser Bestrebungen ist die Substitution von Portlandzementklinker durch zementäre Betonzusatzstoffe (engl. supplementary cementitious materials, SCMs). In diesem Kontext gewinnen kalzinierte Tonen oder carbonatisierte, recycelte Betonfeinstoffe zunehmend an Bedeutung [2]. In der Vergangenheit waren gemahlene granulierte Hochofenschlacke und Flugasche die vorherrschenden SCMs. Prognosen zufolge wird jedoch ihre Verfügbarkeit in den kommenden Jahren abnehmen, was die Dringlichkeit der Herstellung von Betonen mit einem hohen Anteil an neuartigen SCM-Klassen unterstreicht. Die Funktionsfähigkeit moderner Betonzusatzmittel in Verbindung mit neuartigen SCM-Klassen ist von entscheidender Bedeutung.

1 Fließmittel

1.1 Struktur von Fließmitteln für Beton

Moderne Fließmittel sind kammförmige Copolymere, die aus einem geladenen Monomer und einem wasserlöslichen, ungeladenen Seitenkettenpolymer bestehen (Abbildung 1). Das am häufigsten eingesetzte Ladungsmonomer ist Acrylsäure. Die Seitenkettenpolymere basieren auf Poly(ethylenglykol), welches an eine polymerisierbare, olefinische Endgruppe gebunden ist. Die Klasse derartig strukturierter Polymere wird als Polycarboxylatether (PCE) bezeichnet.

Die chemischen Eigenschaften und grundlegende Wechselwirkungsweise von PCE sind bereits vielfältig dargestellt worden [3]. Hier beschränken wir uns auf die Darstellung der wichtigsten Wechselwirkungsprinzipien von PCEs, welche besonders wichtig für die modernen Betone und ihre Probleme sind.

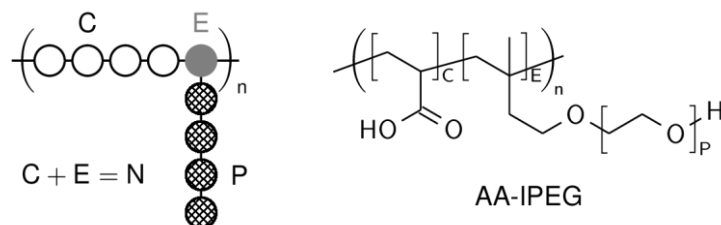


Abb. 1: Struktur von Fließmitteln. Links ist eine abstrahierte Struktur dargestellt, welche die strukturellen Parameter C , E , N und n definiert. C : Zahl der Ladungsmonomere pro Wiederholungseinheit, E : Zahl der Seitenkettenmonomere in der Wiederholungseinheit, N : Gesamtzahl der Monomere in der Wiederholungseinheit, n : Zahl der Wiederholungseinheiten entlang der Hauptkette des Copolymers, P : Zahl der Seitenkettenmonomere entlang der Seitenkette [4]. Rechts: Strukturbeispiel für Poly(acrylsäure-co-isoprenol-PEG).

1.2 Kolloidale Eigenschaften von Portlandzement und von Kompositzementen

Aufgrund ihrer geringen Oberflächenladung in der Porenlösung dominieren bei Zementpartikeln die anziehenden Van-der-Waals-Kräfte gegenüber den abstoßenden elektrostatischen Kräften. Dies führt zu einer ausgeprägten Agglomerationsneigung. Neuere Studien identifizieren zudem Ionen-Korrelationskräfte als wesentliche Ursache für diese attraktiven Wechselwirkungen [5].

Diese Partikelinteraktionen beeinflussen maßgeblich die Rheologie der Suspension: Die Agglomeration erhöht den Wasserbedarf und damit den w/z-Wert, was die finale Festigkeit des Betons mindert, da für eine ausreichende Fließfähigkeit zusätzliches Wasser benötigt wird. Bei klinkerarmen Bindemitteln wird Portlandzement durch Betonzusatzstoffe (*Supplementary Cementitious Materials*, SCM) substituiert. Deren rheologisches Verhalten wird primär durch die Oberflächenchemie sowie die spezifische Oberfläche (SSA) bestimmt. Während klassische SCMs wie Hüttensand oder Flugasche in ihrer SSA und ihrem attraktiven Wechselwirkungsverhalten dem Zement ähneln [6, 7], weisen moderne Alternativen wie kalzinierte Tone oder carbonatisierte Betonrezyklate (cRCP) deutlich höhere SSA-Werte auf. Da auch hier starke attraktive Kräfte wirken, steigt der Wasseranspruch dieser Systeme aufgrund der massiv vergrößerten Partikeloberflächen signifikant an.

Tab. 1: Beeinflussende Eigenschaften von SCMs auf die Partikelinteraktion in Suspensionen

Stoff	SSA m ² / g	Oberflächenchemie	Wechselwirkung in Porenlösung
Portlandzement	0.8 bis 1.2	Silikatisch dominiert	attraktiv
Hüttensand	0.5 bis 1.0	Alumosilikatisch	attraktiv
Flugasche	0.5 bis 1.5	Alumosilikatisch	attraktiv
Kalzinierte Tone [8]	5 bis 50	Alumosilikatisch	attraktiv
cRCP [9]	bis 50	Silikatisch und CaCO ₃	attraktiv

1.3 Adsorption von Fließmitteln und Entwicklung der spezifischen Oberfläche

Die Wirksamkeit von Polycarboxylatethern (PCE) beruht auf deren Adsorption an den Partikeloberflächen des Bindemittels, wodurch dichteabhängige Abstoßungskräfte (sterische Stabilisierung) induziert werden. PCE weisen dabei eine unspezifische Affinität zu nahezu allen Bindemittel- und Hydratphasen sowie SCMs auf. Da der Fließmittelanpruch direkt proportional zur spezifischen Oberfläche (SSA) der Suspension ist, erfordern moderne SCMs wie kalzinierte Tone oder carbonatisierte Betonrezyklate (cRCPs) aufgrund ihrer hohen SSA signifikant höhere PCE-Dosierungen als konventionelle Betonzusatzstoffe.

Ein kritischer Faktor ist die zeitliche Dynamik des Systems: Durch die fortschreitende Auflösung der Klinkerphasen und die simultane Bildung von Hydratationsprodukten verändert sich die Grenzflächenchemie kontinuierlich. In der frühen Hydratationsphase dominiert die Bildung von Ettringit, was die Rheologie maßgeblich beeinflusst. Einerseits entzieht die Ettringitbildung dem System freies Wasser (Senkung des effektiven w/z-Wertes). Andererseits verändern PCE den Kristallisationsort und die Morphologie des Ettringits: Während Ettringit in PCE-freien Systemen primär auf der C₃A-Oberfläche aufwächst, kristallisieren PCE-stabilisierte Ettringitkristalle dispers in der Porenlösung aus. Diese stabilisierten Ettringitnadeln weisen Dimensionen von ca. 200×50 nm auf. Mit einer spezifischen Oberfläche von 30 bis 50 m² / g übertrifft diese Phase die SSA von Portlandzement um den Faktor 50 [10], was den massiven Einfluss der frühen Hydratation auf die Konsistenzhaltung erklärt.

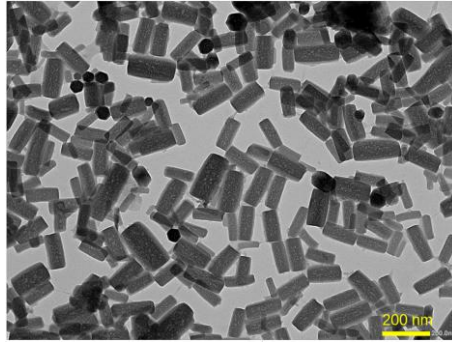


Abb. 2: Ettringitnanopartikel welche aus zementärer Porenlösung in einem Alter von 15 Minuten abgetrennt wurden. Aufgenommen durch Transmissionselektronenmikroskopie.

Aufgrund der deutlich erhöhten SSA bei Verwendung von zementären Betonzusatzstoffen wie kalzinierten Tonen sind erhöhte Fließmittelmengen nicht zu vermeiden.

1.4 Wechselwirkung von PCE mit kalzinierten Tonen

Tonmineralhaltige Gesteinskörnungen beeinträchtigen die Effizienz von PCE-Fließmitteln erheblich, da deren Polyether-Seitenketten in die Zwischenschichten der Tonminerale interkalieren. Dieser Prozess wird sowohl enthalpisch (Ausbildung von Wasserstoffbrücken) als auch entropisch (Freisetzung von adsorbiertem Wasser aus der Zwischenschicht) begünstigt. Die daraus resultierende Deaktivierung der PCE führt zu einem massiven Anstieg des Fließmittelbedarfs. Zur Inhibition dieser Interkalation existieren verschiedene Strategien: Einerseits der Einsatz zweiwertiger Kationen (z. B. Zn^{2+}), andererseits die Zugabe kationischer, stickstoffreicher Polymere, welche die Tonzwischenschichten bevorzugt besetzen und so für PCE blockieren.

Im Gegensatz dazu zeigen kalzinierte Tone ein verändertes Interaktionsprofil mit PCE. Während die morphologische Grundstruktur der Tonminerale bei der thermischen Aktivierung erhalten bleibt, geht die Fernordnung verloren. Dabei wandelt sich die Aluminiumkoordination von rein oktaedrischen Umgebungen hin zu vier- und fünfach koordinierten Al-Spezies. Durch diese strukturelle Umordnung verlieren die Minerale ihr Quellvermögen und damit die Fähigkeit zur PCE-Interkalation [11]. Dennoch bleibt die Herausforderung der hohen spezifischen Oberfläche (SSA) bestehen. Modellrechnungen verdeutlichen diesen Einfluss: Unter Berücksichtigung der SSA-Werte von Zement, Ettringit und kalziniertem Ton (gemäß Abbildung 3) verdreifacht sich die Gesamtoberfläche im Zementleim bereits durch die PCE-induzierte Ettringitbildung in der Porenlösung. Für eine LC^3 -Mischung mit 30 Gew.-% kalziniertem Ton resultiert daraus ein Anstieg der SSA um mindestens den Faktor 2,3 im Vergleich zu einem reinen Portlandzementleim (CEM I).

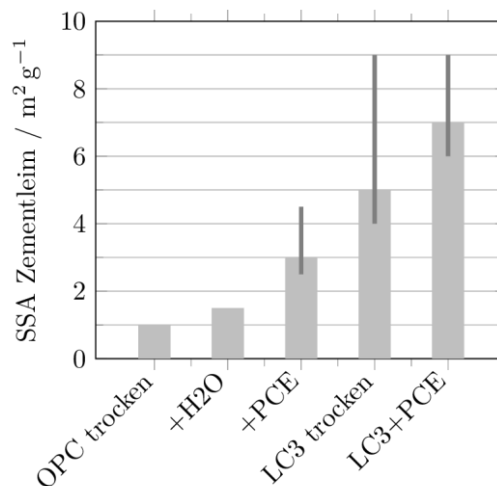


Abb. 3: Modellrechnung für die spezifische Oberfläche von Zementleimen. Annahmen: $SSA(\text{Zement}) = 1 \text{ m}^2 / \text{g}$; $SSA(\text{Aft, ohne PCE}) = 10 \text{ m}^2 / \text{g}$, $SSA(\text{Aft, mit PCE}) = 40 \text{ m}^2 / \text{g}$, $SSA(\text{kalzinierter Ton}) = 14 \text{ m}^2 / \text{g}$

1.5 Konsistenzhaltung von Kompositzementen mit kalzinierten Tonen

Neben dem erhöhten Fließmittelanspruch stellt die begrenzte Konsistenzhaltung die zweite zentrale Herausforderung für hoch-substituierte Kompositzemente mit kalzinierten Tonen dar. Im Vergleich zu konventionellen Systemen mit Hüttensand oder Flugasche verzeichnen diese Bindemittel einen deutlich schnelleren Rückgang der Fließfähigkeit.

Während die Ursachen für den initialen Fließmittelbedarf weitgehend geklärt sind, existiert hinsichtlich des beschleunigten Konsistenzverlusts in der Literatur noch kein eindeutiger Konsens. Als primäre Ursache wird eine gesteigerte Reaktivität der C_3A -Phase in Kombination mit dem hohen Anteil an kalziniertem Ton diskutiert. Die resultierende Ettringitbildung in Gegenwart von PCE generiert Partikel mit einer extrem hohen spezifischen Oberfläche (SSA) von ca. $40 \text{ m}^2 / \text{g}$. Parallel dazu führt das Kristallwachstum zu einer Zunahme des Feststoffvolumengehalts im Zementleim. Beide Mechanismen – die Vergrößerung der Gesamtoberfläche der Suspension sowie die Erhöhung des Packungsgrads der festen Phasen – wirken synergetisch und führen zu einem steilen Anstieg der Fließgrenze über die Zeit.

1.6 Zusammenfassung der Herausforderungen für Fließmittel

In der modernen Betontechnologie gewinnt die Substitution von Portlandzement durch alternative Bindemittel wie kalzinierte Tone, carbonatisierte Betonrezyklate (cRCP) oder industrielle Abfallaschen zunehmend an Bedeutung. Diese Betonzusatzstoffe zeichnen sich jedoch häufig durch geringe Partikelgrößen und folglich sehr hohe spezifische Oberflächen (SSA) aus, was die Anzahl der Partikelkontakte sowie die Intensität der interpartikulären Wechselwirkungen drastisch erhöht. In der Konsequenz steigt der Wasseranspruch dieser Systeme erheblich an, was oft nur durch eine Anhebung des Wasser-Zement-Wertes (w/z) kompensiert werden kann, um die notwendige Verarbeitbarkeit zu gewährleisten. Solch hohe w/z -Werte sind jedoch kontraproduktiv, da sie entweder die mechanische Festigkeit mindern oder ein erhöhtes Zementleimvolumen erfordern, was letztlich den ökologischen Vorteil der CO_2 -Reduzierung durch SCMs wieder zunichtemacht.

Obwohl Polycarboxylatether (PCE) im Gegensatz zu natürlichen Tonen nicht in die Schichtstrukturen kalzinierter Tone interkalieren, bleibt die Konsistenzhaltung aufgrund der gesteigerten frühen Reaktivität des Gesamtsystems eine zentrale technologische Hürde. Daher besteht eine dringende Notwendigkeit für die Entwicklung neuartiger Betonzusatzmittel, die speziell auf hoch-substituierte Systeme mit großen Oberflächen zugeschnitten sind. Die nächste Generation dieser Fließmittel muss darauf abzielen, niedrige Wasser-Zement-Werte (w/z) auch bei anspruchsvollen SCMs zu ermöglichen und dabei eine Konsistenzhaltung zu garantieren, die mit klassischen Betonen vergleichbar ist. Dabei darf die erhöhte Dosierung dieser Fließmittel weder die frühe

Festigkeitsentwicklung verzögern noch zu einer unerwünscht hohen Viskosität der Mischungen führen; vielmehr ist die Realisierung niedrigviskoser, leicht verarbeitbarer Betone das maßgebliche Ziel.

1.7 Lösungsansätze: Fließmittel in nachhaltigen Betonen

Die Entwicklung nachhaltiger Betone stellt die Bauchemie vor komplexe Aufgaben, da die Substitution von Portlandzementklinker durch alternative Bindemittel wie kalzinierte Tone die rheologischen Eigenschaften des Frischbetons grundlegend verändert. Im Zentrum steht dabei die Adsorption von Fließmitteln an SCM-Oberflächen, deren hohe spezifische Oberfläche und variierende Ladung herkömmliche Dosierungskonzepte für LC3-Systeme erschweren. Ein tiefgreifendes Verständnis der fraktionierten Adsorption ist hierbei entscheidend, um zu bewerten, inwieweit eine unvollständige Oberflächenbelegung die notwendige Dispergierung und Suspensionsstabilität bereits gewährleisten kann. Parallel dazu muss die Molekülarchitektur der Polycarboxylate, insbesondere hinsichtlich Ladungsdichte und Seitenkettenlänge, präzise auf die Bindemittelzusammensetzung abgestimmt werden, da diese Parameter die Auflösungsraten der Klinkerphasen und die Induktionsperiode unmittelbar beeinflussen. Dieses Wirkungsgefüge wird maßgeblich durch die frühe Ettringitbildung ergänzt, deren morphologische Entwicklung und Volumenanteil die Viskosität sowie die Fließgrenze des Leims bestimmen. Nur durch die ganzheitliche Betrachtung dieser synergetischen Effekte zwischen Partikeloberflächen, molekularem Design der Betonzusatzmittel und der zeitabhängigen Hydratphasenbildung lässt sich die Verarbeitbarkeit moderner Ökobetone gezielt steuern.

2 Beschleunigung und Steigerung der Frühfestigkeit

Die Substitution von Portlandzementklinker durch CO₂-arme Betonzusatzstoffe führt aufgrund der verzögerten puzzolanischen Reaktivität zwangsläufig zu einer reduzierten Frühfestigkeit. Während die Zementkomponente die Festigkeitsentwicklung innerhalb der ersten vierundzwanzig Stunden dominiert, leisten SCMs primär einen Beitrag zur Gefügeverdichtung ab dem zweiten Tag. In CO₂-armen Bindemittelsystemen, die einen Klinkerfaktor von 50 % oder weniger anstreben, wird die unzureichende 1-Tages-Festigkeit somit zu einer kritischen Hürde für Bauabläufe und Ausschalzeiten. Zwar lässt sich das Festigkeitsniveau durch eine über Fließmittel realisierte Wasserreduktion über alle Altersstufen hinweg anheben, doch reicht diese Maßnahme oft nicht aus, um die Anforderungen der Baupraxis zu erfüllen. Daher ist der gezielte Einsatz chemischer Beschleuniger unerlässlich, um die Hydratationskinetik und die frühe Gefügebildung spezifisch auf die Baustellenanforderungen abzustimmen.

Die aktuelle Forschung konzentriert sich in diesem Zusammenhang auf die komplexen Wechselwirkungen zwischen Beschleunigern und SCM-haltigen Zementen, um die Erhärtung auch bei hohen Substitutionsraten von reaktiven Stoffen wie kalzinierten Tonen oder Hüttensand sicherzustellen. Nur durch eine präzise Justierung dieser Betonzusatzmittel lässt sich die Diskrepanz zwischen sehr guter Langzeitperformance und langsamer initialer Reaktivität überbrücken, was die Grundlage für eine breite Anwendung nachhaltiger Kompositzemente in der Bauindustrie bildet. Im Folgenden werden knapp die drei wichtigsten Beschleunigerklassen vorgestellt: Calciumsalze, Alkanolamine und nanoskalige C-S-H Suspensionen.

2.1 Calciumsalze

Calciumbasierte Salze wie Calciumchlorid CaCl₂, Calciumnitrit Ca(NO₂)₂ und Calciumformiat sind weit verbreitete chemische Beschleuniger. In einer systematischen Untersuchung der Kationen-Wirksamkeit wurde die Reihenfolge $\text{Ca}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Ba}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Fe}^{3+} > \text{Cr}^{2+} > \text{Co}^{2+} > \text{La}^{3+}$ beobachtet. Auch spezifische Anionen wie Cl⁻, Br⁻ und NO₃⁻ wirken als Hydratationsförderer [12, 13]. Diese Salze fördern die frühe Hydratation primär durch die Erleichterung der Keimbildung und des Wachstums von Calciumsilikathydraten (C-S-H), während sie gleichzeitig die Morphologie der Hydratationsprodukte verändern. In Mischsystemen, die Hüttensand (GGBS) oder Flugasche enthalten, verstärken Calciumsalze die Hydratation der C₃S-Phase, wodurch der Portlandit- und

Alkaligehalt steigt. Dies führt zu einer deutlichen Reduzierung der Porosität und einer höheren Frühfestigkeit. Dieser Effekt flacht jedoch meist ab, so dass sich die Festigkeiten nach 28 Tagen oft denen nicht-beschleunigter Systeme angleichen [14].

2.2 Alkanolamine

Alkanolamine, darunter Triethanolamin (TEA) und Triisopropanolamin (TIPA), fördern primär die Auflösung der Aluminatphasen C_3A und C_4AF . Dies führt zu einer verstärkten Bildung von AFm-Phasen und einem höheren Feststoffvolumenanteil, was die mechanische Festigkeit verbessert [16]. In SCM haltigen Systemen können Alkanolamine zudem die Auflösung von reaktivem Aluminium unterstützen, das in Flugasche und kalzinierten Tonen vorkommt. Die Rolle von Alkanolaminen in Kompositzementen ist oft indirekt: Durch die Verstärkung der Hydratation der Portlandzementklinker-Phasen erhöhen sie die Verfügbarkeit von Calciumhydroxid ($Ca(OH)_2$). Dies begünstigt in der Folge die puzzolanische Reaktion der SCMs. Studien zeigen, dass TEA hauptsächlich die Klinkerphasen beeinflusst, während TIPA in LC3-Systemen die frühe Reaktivität von Metakaolin direkt steigern kann [17].

2.3 Seeding (Beschleunigung durch Kristallisationskeime)

Seeding-Materialien, insbesondere polymerstabilisierte C-S-H-Nanopartikelsuspensionen, fungieren als Keimbildungsstellen, welche die Gefügeentwicklung und Erhärtung beschleunigen [18]. Dieser Prozeß reduziert die Erstarrungszeiten erheblich, insbesondere im Zeitfenster von 8 bis 17 Stunden. Ein bemerkenswertes Phänomen in Systemen mit C-S-H-Keimen ist die Abweichung zwischen Druckfestigkeit und Wärmefreisetzung. Mit C-S-H-Keimen versetzte Proben erreichen oft eine signifikant höhere Festigkeit pro freigesetzter Wärmeeinheit im Vergleich zu Referenzproben [19]. Dies wird auf mehrere Faktoren zurückgeführt: eine verbesserte Verdichtung der Matrix, eine morphologische Optimierung des Diffusionsverhaltens und die Förderung von „äußerem“ C-S-H, das weniger dicht ist und mehr Raum einnimmt als „inneres“ C-S-H [20]. Dies macht das Seeding zu einer effektiven Strategie, um die Leistungsfähigkeit bei Zementen mit hohem Klinkerersatz aufrechtzuerhalten. So konnte sowohl die Frühfestigkeit als auch die 28 Tages-Festigkeit eines LC3 Bindemittels durch Zugabe von C-S-H-Keimen gesteigert werden (Abbildung 4) [15].

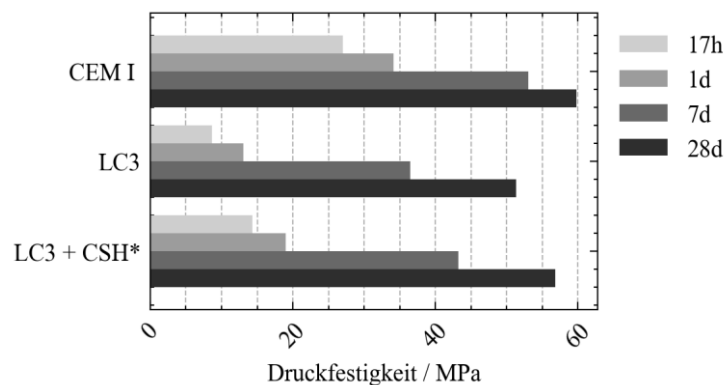


Abb. 4: Mörteldruckfestigkeit ($w/z = 0.4$) mit CEM I, sowie LC3 Bindemittel mit und ohne C-S-H Beschleuniger (adaptiert aus [15])

2.4 Zusammenfassung und Ausblick – Beschleuniger in klinkerarmen Bindemitteln

Obwohl die untersuchten Beschleuniger die Frühfestigkeit klinkerarm konzipierter Bindemittel signifikant steigern, verbleibt ein substanzieller Forschungsbedarf. Aktuell lässt sich oft nicht präzise differenzieren, ob ein Wirkstoff primär die Hydratation des Klinkeranteils forciert oder tatsächlich die puzzolanische Reaktivität der SCMs (Supplementary Cementitious Materials) initiiert. Diese analytische Unschärfe resultiert primär aus der methodischen Schwierigkeit, den Reaktionsgrad amorpher SCM-Phasen in komplexen Hydratmatrices quantitativ zu erfassen [21]. Zukünftige Entwicklungen sollten daher auf gezielte chemische Aktivatoren fokussieren, die spezifisch die Auflösung der Glasphase der SCMs fördern.

Die gezielte Steigerung der SCM-Reaktivität erfordert ein tieferes Verständnis der synergetischen Effekte zwischen der Kalkhydratfreisetzung des Klinkers und der puzzolanischen Umsatzrate. Eine Schlüsselrolle nehmen hierbei moderne Untersuchungsmethoden wie die gekoppelte Thermogravimetrie (TGA) und die XRD-Rietveld-Analyse unter Anwendung des PONKCS-Verfahrens ein, um die Phasenentwicklung zeitaufgelöst zu dekodieren. Erst durch diese methodische Validierung lassen sich Beschleuniger entwickeln, die über die Leistungsfähigkeit aktueller Beschleuniger hinausgehen. Dies bildet eine notwendige Voraussetzung, um den Klinkerfaktor in Hochleistungsbetonen ohne Einbußen bei der frühen Festigkeitsentwicklung weiter abzusenken.

3 Literatur

- [1] Aitcin, P.C., Flatt, R.J. (2015) Science and technology of concrete admixtures. Elsevier Science, <https://books.google.de/books?id=rtlxCOAAQBAJ>
- [2] Scrivener, K., Martirena, F., Bishnoi, S., Maity, S. (2018) Calcined clay limestone cements (LC3). Cement and Concrete, Vol. 114, pp. 49–56, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.08.017>
- [3] Lei, L., Hirata, T., Plank, J. (2022) 40 years of PCE superplasticizers - History, current state-of-the-art and an outlook. Cement and Concrete Research, Vol. 157, 106826, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2022.106826>
- [4] Flatt, R.J., Schober, I., Raphael, E., Plassard, C., Lesniewska, E. (2009) Conformation of Adsorbed Comb Copolymer Dispersants. Langmuir, Vol. 25 pp. 845–855, <https://doi.org/10.1021/la801410e>
- [5] Labbez, C., Jönsson, B., Pochard, I., Nonat, A., Cabane B. (2006) Surface Charge Density and Electrokinetic Potential of Highly Charged Minerals: Experiments and Monte Carlo Simulations on Calcium Silicate Hydrate. The Journal of Physical Chemistry, Vol. 110, 9219–9230, <https://doi.org/10.1021/jp057096+>
- [6] Lowke, D., Gehlen, C. (2017) The zeta potential of cement and additions in cementitious suspensions with high solid fraction. Cement and Concrete, Vol. 95, pp. 195–204, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.02.016>
- [7] Yuan, H., Ge, Z., H. Zhang, H., Jiang, N., Feng, Y., Z. Chang, Z. (2025) Measurement of inter-particle Hamaker constants in mineral materials using atomic force microscopy. Materials Letters, Vol. 379, 137709, <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2024.137709>
- [8] Dhers, S., Müller, A., Guggenberger, R., Freimut, D., Weldert, K., Sachsenhauser, B., Yermakou, V., Mikanovic, N., Schwesig, P. (2024) On the relationship between superplasticizer demand and specific surface area of calcined clays in LC3 systems. Construction and Building Materials, Vol. 411, 134467, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134467>
- [9] Zajac, M., Song, J., Skocek, J., Ben Haha, M., Skibsted, J. (2023) Composite cements with aqueous and semi-dry carbonated recycled concrete pastes. Construction Building Materials Vol. 407, 133362, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133362>
- [10] Rindle, O., Sixt, F., Spillane, L., Willinger, E., Gädt, T. (2025) Revealing the morphology of nano-ettringite in cement paste: A TEM study on the influence of polycarboxylate ether superplasticizers. Cement and Concrete Research, Vol. 193, 107853, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2025.107853>
- [11] Akhlaghi, O., Aytas, T., Tatli, B., Sezer, D., Hodaei, A., Favier, A., Scrivener, K., Menciloglu, Y.Z., Akbulut, O. (2017) Modified poly(carboxylate ether)-based superplasticizer for enhanced flowability of calcined clay-limestone-gypsum blended Portland cement, Cement and Concrete Research, Vol. 101, 114–122, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.08.028>
- [12] Wilding, C.R., Walter, A., Double, D.D. (1984) A classification of inorganic and organic admixtures by conduction calorimetry. Cement and Concrete Research, Vol. 14, 185–194, [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(84\)90103-0](https://doi.org/10.1016/0008-8846(84)90103-0)
- [13] Oey, T., J. Stoian, J., Li, J., Vong, C., Balonis, M., Kumar, A., Franke, W., Sant, G. (2015) Comparison of Ca(NO₃)₂ and CaCl₂ Admixtures on Reaction, Setting, and Strength Evolutions in Plain and Blended Cementing Formulations. Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 27, 04014267, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001240](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001240)
- [14] Steger, L., Blotvogel, S., Frouin, L., Patapy, C., Cyr, M. (2021) Experimental evidence for the acceleration of slag hydration in blended cements by the addition of CaCl₂. Cement and Concrete Research, Vol. 149, 106558, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106558>
- [15] Ferrari, G., Brocchi, A., Castiglioni, F., Bravo, A., Moretti, E., Salvioni, D., Squinzi, M., Artioli, G., Dalconi, M.C., Valentini, L., Dal Sasso, G. (2022) A new multifunctional additive for blended cements. Construction and Building Materials, Vol. 354, 129086, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129086>
- [16] Xu, Z., Li, W., Sun, J., Hu, Y., Xu, K., Ma, S., Shen, X. (2018) Hydration of Portland cement with alkanolamines by thermal analysis. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Vol. 131, pp. 37–47. <https://doi.org/10.1007/s10973-017-6271-y>
- [17] Huang, H., Li, X., Avet, F., Hanpongpan, W., Scrivener, K. (2021) Strength-promoting mechanism of alkanolamines on limestone-calcined clay cement and the role of sulfate, Cement and Concrete Research, Vol. 147, 106527, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106527>

- [18] John, E., Matschei, T., Stephan, D. (2018) Nucleation seeding with calcium silicate hydrate – A review. Cement and Concrete Research, Vol. 113, pp. 74–85, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.07.003>
- [19] Li, X., Dengler, J., Hesse, C. (2023) Reducing clinker factor in limestone calcined clay-slag cement using C-S-H seeding – A way towards sustainable binder. Cement and Concrete Research, Vol. 168, 107151, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2023.107151>
- [20] Sun, J., Shi, H., Qian, B., Xu, Z., Li, W., Shen, X. (2017) Effects of synthetic C-S-H/PCE nanocomposites on early cement hydration. Construction and Building Materials, Vol. 140, pp. 282–292, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.075>
- [21] Durdziński, P.T., Ben Haha, M., Bernal, S.A., De Belie, N., Gruyaert, E., Lothenbach, B., Menéndez Méndez, E., Provis, J.L., Schöler, A., Stabler, C., Tan, Z., Villagrán Zaccardi, Y., Vollpracht, A., Winnefeld, F., M. Zając, M., Scrivener, K.L. (2017) Outcomes of the RILEM round robin on degree of reaction of slag and fly ash in blended cements. Materials and Structures, Vol. 50, 135, <https://doi.org/10.1617/s11527-017-1002-1>

4 Autoren

Prof. Dr. Torben Gädt

Department Chemie
TUM School of Natural Sciences
Lichtenbergstraße 4
85748 Garching bei München
torben.gaedt@tum.de

Dr. Joachim Dengler

Principal scientist concrete and cementitious systems
Sika Deutschland CH AG & Co KG
Kornwestheimer Straße 103-107
70439 Stuttgart
dengler.joachim@de.sika.com

Normen und Standards – Die gemeinsame Sprache beim Bauen

Markus Brunner

Zusammenfassung

Normen und Standards sind im Bauwesen essenziell. Sie schaffen bei den vielen am Bau Beteiligten ein gemeinsames Verständnis für komplexe Anforderungen und für abstrakte Begriffe wie Qualität, Sicherheit oder Nachhaltigkeit. Der geregelte Prozess, in dem Normen und Standards unter breiter Beteiligung von Experten aller Interessensgruppen entstehen, sorgt für hohe Akzeptanz. Technische Regeln ebnen den Weg, Innovationen in eine breite Anwendung zu überführen. Gerade im Bauwesen sind sie ein wesentlicher Faktor für eine erfolgreiche Marktetablierung. Normung und Standardisierung sollten frühzeitig in Innovationsprozesse eingebunden werden, um zielgerichtet an standardisierbaren und mit ihrer Peripherie kompatiblen Lösungen zu arbeiten.

Schlagwörter: Normen, Bauwesen, Qualität, Nachhaltigkeit, Innovationen, Marktetablierung, Akzeptanz

Abstract

Standards and norms are essential in the construction industry. They create a shared understanding among the many stakeholders involved in construction projects of complex requirements and abstract concepts such as quality, safety, and sustainability. The regulated process in which standards and norms are developed, with broad participation from experts representing all interest groups, ensures a high level of acceptance. Technical rules pave the way for innovations to be transferred into widespread application. Especially in the construction sector, they are a key factor for successful market adoption. Standardization and the development of norms should be integrated at an early stage of innovation processes to work in a targeted manner on solutions that can be standardized and are compatible with their surrounding systems.

Keywords: Standards, construction industry, quality, sustainability, innovation, market adoption, acceptance

1 Das Deutsche Institut für Normung e. V

Das Deutsche Institut für Normung e. V. (DIN) koordiniert seit 1917 die nationale Normungsarbeit und vertritt deutsche Interessen auf europäischer und internationaler Ebene. DIN ist ein privater Verein, der die Normungsarbeit organisiert. DIN organisiert die Erarbeitung von Normen und Standards unter Beteiligung von etwa 40.000 Expertinnen und Experten aus allen gesellschaftlichen Bereichen – von der mittelständischen Wirtschaft über Großkonzerne bis hin zu Forschungseinrichtungen, Behörden und Verbraucherorganisationen. Dabei achtet DIN darauf, dass die festgelegten Regeln für die Erstellung von Normen und Standards eingehalten werden.

DIN übernimmt dabei nicht nur eine koordinierende Rolle, sondern fördert darüber hinaus zusätzlich die aktive Beteiligung. Fachleute aus der Praxis sind ausdrücklich eingeladen, sich in den Normungsprozess einzubringen – sei es durch Mitarbeit in Gremien, durch Stellung von Normungsanträgen oder durch konstruktive Kommentierung von Entwürfen während der öffentlichen Auslegung.

2 Normen und Standards im Bauwesen

Im Vergleich zu anderen Wirtschaftssektoren ist der Bausektor durch einige Besonderheiten geprägt. So ist diese Branche sehr kleinteilig. In Deutschland sind 400.000 Unternehmen, die sich auf mehr als 30 Gewerke verteilen, am Bau beteiligt. Gleichzeitig ist fast jedes Bauwerk ein Unikat, geprägt von individuellen Entwürfen, unterschiedlichen äußeren Bedingungen und städtebaulichem Kontext. Selbst Gebäude, die nach dem gleichen Entwurf errichtet werden, unterscheiden sich in der Regel durch ihren Standort und die am Bau Beteiligten. Dies führt oftmals zu komplexen Prozessen und hohem Aufwand hinsichtlich Kommunikation und der Schaffung von Transparenz.

Darüber hinaus ist die Errichtung von Bauwerken mit beträchtlichen Investitionskosten und langen erwarteten Nutzungsdauern verbunden. Baufehler können zu sehr hohen Folgekosten führen, was zu entsprechenden Risiken bzw. Risikobewusstsein der Branche führt. Gleichzeitig steht das Bauwesen vor komplexen Herausforderungen: Steigende Anforderungen an Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz treffen auf enge Zeit- und Kostenrahmen, während gleichzeitig die Digitalisierung alle Planungs- und Ausführungsprozesse grundlegend verändert. Parallel dazu wachsen die Erwartungen an Gebäudequalität, Energieeffizienz und Lebenszyklusbetrachtungen kontinuierlich.

Normen und Standards spielen eine wichtige Rolle, um diesen Herausforderungen zu begegnen. Sie bieten Orientierung und sind wesentliche Grundlage zur Optimierung von Prozessen und Schaffung von Effizienz. Normen erleichtern die Erstellung von Ausschreibungen und die Gestaltung von Verträgen, wodurch die Planungs- und Bauprozesse effizienter werden. Gleichzeitig unterstützen sie durch die Schaffung von Vergleichbarkeit zwischen Produkten und Dienstleistungen den Wettbewerb und erhöhen die Markttransparenz. Normen und Standards helfen Fehler zu minimieren und Wartung und Instandhaltung transparent und planbar zu machen.

Im Baubereich nimmt der Gesetzgeber Normen in Bezug, um Gesetze zu konkretisieren. Die Bauordnungen der Länder fordern: „Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere Leben, Gesundheit und die natürlichen Lebensgrundlagen, nicht gefährdet werden ...“. Um dieses abstrakte Schutzziel zu konkretisieren, verweisen die Bauaufsichten der Länder in ihren Verwaltungsvorschriften Technische Baubestimmungen (VVTB) auf ca. 700 DIN-Normen. Diese Normen sind dadurch verpflichtend einzuhalten.

3 Die Entstehung von Normen und Standards

Jeder hat die Möglichkeit, sich an der Normung zu beteiligen. An der Erarbeitung von Normen sind diejenigen Kreise beteiligt, die sie später anwenden.

Bei DIN arbeiten etwa 40.000 Expertinnen und Experten aus Wirtschaft, Forschung, öffentlicher Hand und Zivilgesellschaft, darunter auch Vertretungen von Verbraucher- und Umweltverbänden, an den Inhalten von Normen. Koordiniert wird diese Arbeit von rund 550 Mitarbeitenden von DIN. Die Erarbeitung nationaler Normen bzw. die Spiegelung europäischer und internationaler Normungsarbeit erfolgt in Arbeitsausschüssen, die von jeweils einem DIN-Mitarbeitenden betreut werden.

Die Beteiligung an der Normung ist auf drei Wegen möglich:

1. **Antragstellung:** Es kann ein Antrag auf die Erstellung oder Änderung einer Norm gestellt werden. Dies erfolgt über die DIN-Webseite unter dem Stichwort „Normungsantrag“ (<https://www.din.de/de/mitwirken/normungsantrag>). Dabei müssen Fragen beantwortet werden, wie z. B.: Warum wird die Norm benötigt? Wer wird sie anwenden? Was ist das öffentliche Interesse? Und wer sollte an der Entwicklung beteiligt werden? Die Annahme eines Normungsantrags erfordert die breite Zustimmung der beteiligten Interessengruppen.
2. **Mitwirkung in einem Arbeitsausschuss:** Eine direkte Mitwirkung in einem Arbeitsausschuss ist ebenfalls möglich. Die Bewerbung erfolgt formlos. Um die Arbeitsfähigkeit der Gremien sicherzustellen, ist deren Mitgliederzahl in der Regel auf 21 Personen begrenzt, wobei in Einzelfällen Ausnahmen möglich sind.
3. **Kommentierung von Norm-Entwürfen:** Alle Norm-Entwürfe – ob nationale, europäische oder internationale – werden veröffentlicht und können im Norm-Entwurfs-Portal (<https://www.din.de/de/mitwirken/entwuerfe>) kommentiert werden. Dazu ist eine einmalige Registrierung erforderlich. Der Normungsmonitor (<https://www.dinmedia.de/de/regelwerke/normungsmonitor>) informiert über den aktuellen Stand von Normungsprojekten und erinnert an Einspruchsfristen. Jede Stellungnahme oder jeder Einspruch, der fristgerecht eingeht, wird vom zuständigen Arbeitsausschuss geprüft. Die Verfasser der Stellungnahmen oder Einwände werden zur Beratung eingeladen, um ihre Anmerkungen und Argumente persönlich zu vertreten.

4 Internationalisierung der Normung

80 % der in Deutschland gültigen Normen basieren auf europäischen oder internationalen Dokumenten. Diese internationale Vernetzung sorgt für Harmonisierung und erleichtert den grenzüberschreitenden Handel.

Als nationales Normungsinstitut ist DIN aktives Mitglied sowohl bei ISO (International Organization for Standardization) als auch bei CEN (Europäisches Komitee für Normung) und stellt sicher, dass deutsche Interessen in die internationale und europäische Normungsarbeit einfließen. Der Schwerpunkt der Arbeit der nationalen DIN-Arbeitsausschüsse liegt daher überwiegend in der Bearbeitung und Spiegelung der europäischen und internationalen Normungsarbeit, weniger auf der Erarbeitung nationaler DIN-Normen. Zudem trägt die Entsendung deutscher Expertinnen und Experten dazu bei, die Normungsprozesse auf internationaler und europäischer Ebene maßgeblich mitzugestalten. Das Beispiel für die globale Bedeutung deutscher Normungsarbeit schlechthin ist das Papierformat A4: ursprünglich 1923 als DIN 476 in Deutschland eingeführt, bildet es die Grundlage für das heute weltweit verbreitete und gemäß ISO 216 standardisierte Papierformat.

Die eigentliche Erarbeitung europäischer und internationaler Normen findet nicht direkt bei CEN und ISO statt, sondern wird von den nationalen Mitgliedsorganisationen durchgeführt, die für die Koordination und Organisation der entsprechenden Sekretariate verantwortlich sind. Jedes Mitgliedsland hat hierbei die Möglichkeit, sich um die Übernahme von Sekretariaten dieser Gremien zu bewerben. Die nationale Normungsorganisation, die ein solches Sekretariat innehat, übernimmt die Organisation der Normungsarbeit und stellt in der Regel auch den Vorsitz im jeweiligen Gremium. DIN engagiert sich in diesem Bereich in besonderem Maße: Deutschland zählt zu den führenden Ländern, die die meisten ISO- und CEN-Sekretariate halten, und trägt somit erheblich zur internationalen und europäischen Normungsarbeit bei.

5 Dokumentarten

Neben den klassischen Normen werden bei den Normungsorganisationen weitere Dokumentarten erarbeitet. Dabei wird zwischen Normen und Standards unterschieden. In Deutschland existieren auf nationaler Ebene neben der DIN-Norm die Technische Spezifikation (DIN/TS), der Technische Report (DIN/TR) sowie die DIN SPEC. Letzteres ist eine Spezifikation, die im PAS-Verfahren (Publicly Available Specification) erstellt wird. Die entsprechenden Dokumente auf europäischer Ebene sind die CEN Norm (EN), CEN/TS, CEN/TR und das CWA (CEN Workshop Agreement), bzw. die ISO-Norm, ISO/TS, ISO/TR und das IWA (ISO Workshop Agreement) auf internationaler Ebene. Alle Dokumentarten werden stets nach klar definierten Regeln erarbeitet. Dabei gelten für Normen die höchsten Anforderungen an Konsensfindung und die Beteiligung der interessierten Kreise.

Eine Technische Spezifikation (DIN/TS) ist das Ergebnis eines Normungsprojekts, das jedoch wegen bestimmter Vorbehalte, abweichender Aufstellungsverfahren oder aufgrund spezifischer europäischer Rahmenbedingungen nicht als Norm veröffentlicht wird. Wie Normen werden DIN/TS nach den Vorgaben der DIN 820 erstellt. Sie bieten der Öffentlichkeit die Möglichkeit, Ergebnisse aus Normungsvorhaben zu nutzen, auch wenn diese aufgrund eines fehlenden Konsenses oder inhaltlicher Vorbehalte nicht als DIN-Norm veröffentlicht werden können. Anders als bei einer Norm kann bei einer DIN/TS auf eine Entwurfsveröffentlichung verzichtet werden.

Ein Technischer Report (DIN/TR) hingegen ist ein Sachstandsbericht, der Erkenntnisse, und Daten eines Normungsprojekts dokumentiert und ein rein informatives Dokument ist. Er dient dazu, den Stand der Normung sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene darzustellen, und kann als Basis für künftige Normungsarbeiten herangezogen werden. DIN/TR werden ebenso wie Normen nach den Regeln der DIN 820 erarbeitet. Über die Veröffentlichung eines DIN/TR entscheidet der zuständige Arbeitsausschuss des DIN.

Im Gegensatz zur Norm, der Technischen Spezifikation oder dem Technischen Report wird der Inhalt einer DIN SPEC von einem temporär zusammengestellten Gremium erarbeitet. Dabei sind weder Konsens noch die Einbeziehung aller interessierten Kreise zwingend erforderlich. DIN SPECs sind bewährte strategische Instrumente, um innovative Lösungen schnell und effizient in die Anwendung zu bringen. Sie bilden die kürzeste Verbindung zwischen Forschung und Produktentwicklung und können in kleinen Arbeitsgruppen innerhalb weniger Monate erstellt werden. Zudem fördern sie den Austausch zwischen Marktteilnehmern. Die Aufgabe von DIN ist es, dafür zu sorgen, dass DIN SPECs bestehenden Normen nicht widersprechen.

6 Normung und Standardisierung in Innovationsprozessen

Die Entwicklung von marktfähigen Produkten, Prozessen und Dienstleistungen aus innovativen Ideen und neuen Erkenntnissen ist ein entscheidender Faktor für Wettbewerbsfähigkeit. In diesem Zusammenhang erweisen sich Normen und Standards als unverzichtbare Instrumente. Sie schaffen die Grundlage für einen

erfolgreichen Technologietransfer, indem sie Innovationen in die breite Anwendung bringen und deren langfristige Etablierung auf dem Markt fördern. Dies gilt aufgrund seiner Besonderheiten vor allem für den Baubereich.

Normen bieten nicht nur Orientierung und Sicherheit, sondern schaffen auch Vertrauen. Besonders der klar geregelte Prozess, der ihrer Entstehung zugrunde liegt, stärkt ihre Akzeptanz. Hinter jeder Norm stehen die Mitwirkung und der Konsens von Expertinnen und Experten aus den relevanten Stakeholdergruppen. Diese bringen vielfältige Perspektiven ein. Normen gelten damit als das gemeinsame Verständnis der Beteiligten und gewährleisten dadurch Ausgewogenheit und Fundiertheit von Normen.

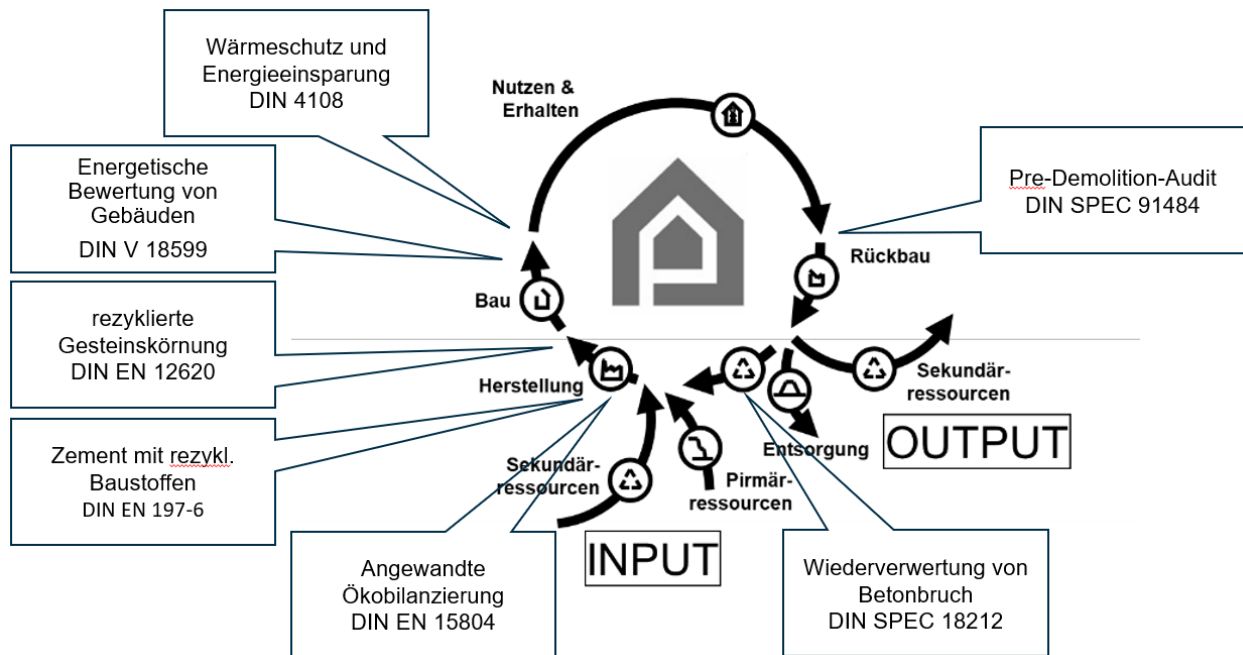


Abb. 1: Verteilung verschiedener Normen und Standards aus dem Bereich Nachhaltiges Bauen über den Lebenszyklus eines Gebäudes

Normen und Standards spiegeln wider, wie etabliert Technologien, Produkte oder Dienstleistungen in einem bestimmten Bereich sind. Betrachtet man beispielsweise den Lebenszyklus eines Gebäudes, zeigt sich, dass die Anzahl der Normen im Bereich der Errichtung und der Herstellung von Baustoffen aus Primärrohstoffen deutlich höher ist als im Bereich des Rückbaus und der Wiederverwendung bzw. -verwertung von Materialien. Obwohl es bereits zahlreiche Ansätze und Ideen gibt, Materialkreisläufe zu schließen, deren technische Machbarkeit in Teilen bereits nachgewiesen wurde, haben sich viele bislang noch nicht flächendeckend durchgesetzt. Damit solche Innovationen ihre volle Wirkung entfalten können, ist eine breite Anwendung erforderlich. Normung und Standardisierung können hierbei als Schlüssel dienen und zur Umsetzung beitragen.

Um Innovationsprozesse effektiv zu unterstützen, ist es essenziell, Normung und Standardisierung bereits in einer frühen Phase der Entwicklung zu integrieren. Dies ermöglicht es, mögliche Schnittstellen und Kompatibilitätsanforderungen frühzeitig zu identifizieren und auf standardisierbare Lösungen hinzuarbeiten. Angesichts des wachsenden internationalen Wettbewerbs richtet sich der Fokus dabei zunehmend auf die internationale und europäische Normung. Diese Ebene ist nicht nur für den Binnenmarkt der EU von Bedeutung, sondern schafft auch die Voraussetzung für globale Wettbewerbsfähigkeit.

Normen und Standards erweisen sich somit als strategisches Werkzeug, um Innovationen zu fördern. Eine frühzeitige Integration der Normung in Innovationsprozesse bildet daher das Fundament für langfristige Wettbewerbsfähigkeit und Marktorientierung.

7 Autor

Markus Brunner

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Am DIN-Platz

Burggrafenstraße 6

10787 Berlin

markus.brunner@din.de

Bauen mit Beton für morgen – Umsetzung von Innovationen in der Praxis

Petra Schröder und Gerhard Breitschaft

Zusammenfassung

Die Baustoffindustrie entwickelt zunehmend nachhaltige, innovative Baustoffe wie klinkerarme Zemente, zementfreie Bindemittel (Geopolymere) und Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen, um CO₂-Emissionen zu reduzieren und natürliche Ressourcen zu schonen. Solche Produkte bewegen sich oft außerhalb der bestehenden Normen, weshalb allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen (abZ), Europäische Technische Bewertungen (ETA) und allgemeine Bauartgenehmigungen (aBG) bauaufsichtlich anerkannte Möglichkeiten darstellen, um Standsicherheit, Dauerhaftigkeit und Umweltverträglichkeit nachzuweisen. Zahlreiche Praxisbeispiele zeigen, dass Zulassungen, Bewertungen und Bauartgenehmigungen die Markteinführung dieser Innovationen beschleunigen oder gar erst ermöglichen. Auf diese Weise lassen sich erhebliche CO₂-Einsparungen erzielen und Ressourcen schonen.

Schlagwörter: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ), Europäische Technische Bewertung (ETA), allgemeine Bauartgenehmigung (aBG), Innovationen, Beton

Abstract

The concrete industry is increasingly developing sustainable and innovative materials, such as low-clinker cements, cement-free binders (geopolymers), and concrete with recycled aggregates in order to reduce CO₂-emissions and conserve natural resources. Such products often fall outside the scope of existing standards. In this context, national technical approvals (abZ), European Technical Assessments (ETA), and general construction technique permit (aBG) provide an officially recognized means of demonstrating structural safety, durability, and environmental compatibility. Numerous practical examples show that approvals, assessments, and construction technique permits accelerate or, in some cases, enable the market introduction of these innovations. In this way, significant CO₂ savings can be achieved, and resources conserved.

Keywords: National technical approval (abZ), European Technical Assessment (ETA), General construction technique permit (aBG), innovation, concrete

1 Einleitung

Der Bausektor steht im Zentrum der globalen Klimadiskussion. Rund 37 % der energiebedingten CO₂-Emissionen entstehen laut einem UN-Bericht [1] durch Gebäude und Infrastruktur, wobei mineralische Baustoffe, insbesondere Zement und Beton, eine zentrale Rolle spielen. Während in den vergangenen Jahren die CO₂-Emissionen für das Beheizen von Gebäuden bereits deutlich gesenkt werden konnten, zeigen sich bei der Reduzierung von CO₂-Emissionen der emissionsintensiven Baustoffe bislang nur geringe Fortschritte. Die Wahl der Materialien ist dabei entscheidend.

Beton ist aufgrund seiner Verfügbarkeit, Formbarkeit, Festigkeit, Dauerhaftigkeit und Wirtschaftlichkeit kaum zu ersetzen. Gleichzeitig zählt Zement – ebenso wie Stahl – zu den Baustoffen, deren Herstellung und Weiterverarbeitung besonders schwer zu dekarbonisieren sind. Insbesondere der hohe Klinkeranteil im Zement trägt wesentlich zu seinem CO₂-Fußabdruck bei. Um den Ausstoß von Kohlenstoffdioxid zu verringern, ist es daher sinnvoll, emissionsintensive Baustoffe – wo immer möglich – durch Materialien mit einem geringeren CO₂-Ausstoß zu ersetzen. Ein weiteres Ziel ist es, durch den Einsatz von rezyklierten Gesteinskörnungen die natürlichen Ressourcen zu schonen.

Die wissenschaftliche und industrielle Entwicklung innovativer Baustoffe hat in den vergangenen Jahren deutlich an Dynamik gewonnen. Der Fokus liegt dabei auf der Reduktion des Klinkergehalts von Zement, der Nutzung alternativer Zemente, z. B. Calcium-Sulphoaluminat-Zement, Celitement (ein Niedrigtemperatur-C-S-H-Binder, der durch hochenergetische Mahlung mechanochemisch aktiviert wird), der Entwicklung zementfreier Betone, z. B. von Geopolymeren und alkalisch angeregten Systemen sowie dem Einsatz von rezyklierten Gesteinskörnungen oder -mehlen bei der Herstellung von Beton und Zementen. Die neuen Entwicklungen bei der Zementherstellung und beim Beton bieten erhebliche Potenziale für CO₂-Einsparungen im Betonbau. Dies führt zu einer zunehmenden Diskrepanz zwischen der Geschwindigkeit, mit der neue, nachhaltige Baustoffe entwickelt werden, und der notwendigen Zeitspanne, um sie in technische Normen zu überführen. Die mit klinkerarmen bzw. alternativen Zementen oder mit einem hohen Anteil an rezyklierter Gesteinskörnung hergestellten Betone entsprechen derzeit nicht den Vorgaben der Betonnorm DIN 1045-2 [2].

An diesem Punkt kommen bauaufsichtliche Zulassungs- und Genehmigungsverfahren ins Spiel: Sie bieten, solange die entsprechenden Normen noch nicht vorliegen, die beste Möglichkeit, die innovativen Bauprodukte und Bauarten sicher in der Praxis anzuwenden. Wissenschaftliche Erkenntnisse, Prüfkonzepte und neue Materialklassen können damit kontrolliert in reale Bauprojekte überführt werden.

Der Beitrag gibt einen Überblick über konventionelle und innovative Betone sowie den wissenschaftlichen Hintergrund nachhaltiger Bindemittel und zeigt anhand ausgewählter Praxisbeispiele, wie Zulassungen und Bauartgenehmigungen den Einsatz neuer Bauprodukte und Bauarten ermöglichen. Zulassungsverfahren bleiben dabei stets Vorreiter: Mit wachsender Erfahrung lassen sich daraus allgemein gültige Ver- und Anwendungsregeln ableiten, die dann in technische Regeln (z. B. Normen) und in die technischen Baubestimmungen übernommen werden können.

2 Bauaufsichtliche Regelungen von Bauprodukten und Bauarten

2.1 Allgemeines

Bauen berührt wichtige öffentliche Schutzinteressen wie das Leben und die Gesundheit von Menschen und die Umwelt. Die Sicherheit von Bauwerken lässt sich nur gewährleisten, wenn verlässliche, leistungsfähige Bauprodukte und Bauarten eingesetzt werden. Beim Fehlen von anerkannten technischen Regeln sind hierfür

bauaufsichtliche Ver- bzw. Anwendbarkeitsnachweise erforderlich. Darüber hinaus stehen den Wirtschaftsakteuren weitere Möglichkeiten offen, gegenüber den Bauaufsichtsbehörden die erforderlichen Nachweise zu erbringen.

Mit der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ), der Europäischen Technischen Bewertung und der allgemeinen Bauartgenehmigung (aBG) können regelungsbedürftige – etwa innovative – Bauprodukte und konstruktive Lösungen bundesweit in Übereinstimmung mit den Bauordnungen eingesetzt werden. Beim Vorliegen einer ETA können die Leistungen eines innovativen Produkts sogar europaweit nachgewiesen und die Bauprodukte mit der CE-Kennzeichnung versehen werden.

Zulassungs- und Genehmigungsstelle für Bauprodukte und Bauarten ist in Deutschland das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt). Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, ein noch nicht geregeltes Bauprodukt mit einer Zustimmung im Einzelfall (ZiE) in Kombination mit einer vorhabenbezogenen Bauartgenehmigung (vBG) für ein konkretes Bauvorhaben einzusetzen. Der Antrag hierfür muss bei der Obersten Bauaufsichtsbehörde des Bundeslandes gestellt werden, in dem das Bauvorhaben durchgeführt wird. Für die Länder Berlin – und seit 1. Januar 2026 auch für Mecklenburg-Vorpommern und Niedersachsen – übernimmt das DIBt diese Aufgabe.

2.2 Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen und allgemeine Bauartgenehmigungen

Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) ist der Klassiker unter den nationalen Verwendbarkeitsnachweisen für Bauprodukte. Sie legt die bauaufsichtlich relevanten Eigenschaften des Bauprodukts fest und regelt dessen Verwendungsbereiche sowie Verarbeitung, Transport, Lagerung, Kennzeichnung und Übereinstimmungsbestätigung.

Da die Bauordnungen der Bundesländer darauf ausgerichtet sind, die Sicherheit von Bauwerken zu gewährleisten, kann es darüber hinaus erforderlich sein, nicht nur die Bauprodukteigenschaften, sondern auch die Bauart – also das Zusammenfügen sowie die Planung, Bemessung und Ausführung – einzubeziehen, wenn dies nicht bereits in einer Technischen Baubestimmung geregelt ist. In solchen Fällen entsteht ein sogenannter Kombibescheid aus allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung und allgemeiner Bauartgenehmigung (abZ/aBG). Werden dagegen *nur* die Eigenschaften und Funktionen geregelt, die sich erst aus dem Zusammenbau einzelner Bauprodukte zu baulichen Anlagen oder deren Teilen ergeben, erteilt das DIBt eine allgemeine Bauartgenehmigung (aBG).

Die abZ, gegebenenfalls ergänzt durch eine aBG, bestätigt die Einhaltung der nationalen Anforderungen an die Bauwerkssicherheit für das jeweilige Bauprodukt. Bauprodukte mit einer abZ können dadurch in der Planung, Konstruktion und Bauausführung ohne zusätzlichen Aufwand sicher verwendet werden.

2.3 Die Europäische Technische Bewertung (ETA)

Die ETA ist das europäische Pendant zur abZ. Dabei sollen allein die Bauproduktleistungen ausgewiesen werden. Hinweise zur Verarbeitung, Berechnung, Transport, Lagerung etc. gehören nach der europäischen Bauproduktenverordnung nicht dazu. Der Übereinstimmungsnachweis ergibt sich aus europäischen Rechtsakten.

Ein europäisches Pendant zur aBG gibt es nicht. Das Zusammenbauen eines Bauwerks aus Produkten unterliegt den gesetzlichen Bestimmungen der Mitgliedsstaaten, welche jedoch freiwillig europäisch abgestimmte Regeln (z. B. die Eurocodes) sein können.

2.4 Der Weg zur Zulassung / Bauartgenehmigung -- Allgemeines

In der Regel erfolgen Vorgespräche zwischen dem potenziellen Antragsteller und dem DIBt. Vorhandene Ergebnisse aus Forschungsprojekten oder projektbezogenen Entscheidungen (ZiE / vBG) können für den Antrag genutzt werden. Damit das Bauprodukt in der Zulassung geregelt werden kann, müssen die vorgesehenen Verwendungszwecke bereits im Vorfeld definiert sein. Dies lässt sich gegebenenfalls in Abstimmung mit einem Gutachter klären, mit dem Ziel von Anfang an Klarheit über den Anwendungsbereich und den erforderlichen Regelungsumfang zu schaffen.

Nach der Antragstellung legt das DIBt zusammen mit dem zuständigen Sachverständigenausschuss den erforderlichen Prüfumfang für das Zulassungsverfahren fest. Wesentlich für die spätere Erteilung der Zulassung für das Bauprodukt sind dabei folgende Punkte, die bei der Erstellung des Prüfplans berücksichtigt werden müssen:

- Gleichmäßigkeit,
- Unschädlichkeit im Hinblick auf die spätere Verwendung im Sinne von Umweltverträglichkeit und Gesundheitsschutz,
- Standsicherheit sowie
- Dauerhaftigkeit.

Die Durchführung der Zulassungsprüfung erfolgt in der Regel stufenweise. Zunächst wird die ungünstigste (pessimale) Probe ausgewählt. Anhand dieser Probe werden anschließend die weiteren Nachweise erbracht. Die Eignung des Bauprodukts im Hinblick auf die Standsicherheit und Dauerhaftigkeit wird erst geprüft, nachdem die Unschädlichkeit des Produkts nachgewiesen wurde. Nach Abschluss der Zulassungsprüfung und Vorlage des Abschlussberichts sowie ggf. einer gutachterlichen Stellungnahme, in der die Ergebnisse bewertet werden, prüft das DIBt gemeinsam mit dem Sachverständigenausschuss die Daten, und bei positiver Bewertung kann die Zulassung erteilt werden.

2.5 Der Weg zur ETA

Bei einer ETA ähneln die Beratung der Antragsteller und die wesentlichen Ansprüche an das Produkt denen der abZ. Allerdings werden die erforderlichen Prüfungen in einem eigenen Dokument, dem Europäischen Bewertungsdokument (EAD) niedergeschrieben und sowohl die Prüfungen als auch deren Ergebnisse in der ETA zuvor einer Abstimmung innerhalb der Europäischen Organisation für Technische Bewertung (EOTA) unterzogen.

3 Beispiel 1: Beton mit ausschließlich rezyklierter Gesteinskörnung

3.1 Allgemeines - Beton nach DIN 1045-2 mit rezyklierter Gesteinskörnung

Die neue DIN 1045-2 [2] für Beton sieht die Verwendung von rezyklierter Gesteinskörnung nach DIN EN 12620 [3] der Typen 1 und 2 nach DIN 4226-101 [4] vor. Gemäß DIN 1045-2, Tabelle E.2 werden die Typen 1 und 2, wie in Tabelle 1 aufgeführt, spezifiziert [2].

Tab. 1: Grobe rezyklierte Gesteinskörnung nach DIN EN 12620 [3] aus DIN 1045-2 [2], Anhang E

Spalte	1	2	3
Zeile	Bestandteile ^a	Kategorie der Gesteinskörnung	
1		Typ 1	Typ 2
2	Rc + Ru	Rcu ₉₀	Rcu ₇₀
3	Rb	Rb ₁₀₋	Rb ₃₀₋
4	Ra	Ra ₁₋	Ra ₁₋
5	X + Rg	XRg ₁₋	XRg ₂₋
6	FL	FL ₂₋	FL ₂₋
^a dabei bedeuten: Rc: Beton, Betonprodukte, Mörtel, Mauersteine aus Beton; Ru: Ungebundene Gesteinskörnung, Naturstein, hydraulisch gebundene Gesteinskörnungen; Rb: Mauerziegel (d. h. Mauersteine und Ziegel), Kalksandsteine, nicht schwimmender Porenbeton; Ra: Bitumenhaltige Materialien; Rg: Glas; X: Sonstige Materialien: Bindige Materialien (d.h. Ton und Boden), verschiedene sonstige Materialien: Metalle (Eisen- und Nichteisenmetalle), nicht schwimmendes Holz, Kunststoff, Gummi, Gips; FL: Schwimmendes Material im Volumen.			

Für die Herstellung von Beton der Druckfestigkeitsklasse $\leq C30/37$ dürfen, abhängig von der Feuchtigkeits- und Expositionsklasse, bis zu 45 Vol.-% rezyklierte Gesteinskörnung Typ 1 oder 2 (bezogen auf die gesamte Gesteinskörnung) zugegeben werden. Bauteile aus Beton, die unter diesen Bedingungen hergestellt wurden, dürfen gemäß DIN EN 1992-1-1 [5] bemessen werden. Die Verwendung von rezyklierter Gesteinskörnung für Spannbeton und Leichtbeton ist derzeit jedoch nicht zulässig.

Das folgende Beispiel gibt einen Überblick über ein Zulassungsverfahren für einen von DIN 1045-2 [2] abweichenden Beton, bei dem die natürliche Gesteinskörnung vollständig (100 Vol.-%) durch rezyklierte Gesteinskörnung ähnlich Typ 3 (Mauerwerkssplitt, Mauerwerkbrechsand) ersetzt wird.

3.2 Beton mit 100 Vol.-% rezyklierter Gesteinskörnung nach DIN EN 12620

3.2.1 Allgemeine Angaben

Der Beton weicht von den Vorgaben der DIN 1045-2 ab, da er mit 100 Vol.-% rezyklierter Gesteinskörnung ähnlich Typ 3 hergestellt wird. Eine Bemessung von Bauteilen unter Verwendung des Betons ist nach DIN EN 1992-1-1 [5] nicht möglich, da er außerhalb des Anwendungsbereichs der DIN 1045-2 [2] liegt.

Mit diesem Beton sollen Beton- und Stahlbetonbauteile der Druckfestigkeitsklasse C20/25 nach DIN EN 1992-1-1 / DIN EN 1992-1-1/NA, Abschnitt 12 "Tragwerke aus unbewehrtem oder gering bewehrtem Beton" [5, 6, 7, 8] für (Innen-)Wände in den Expositionsklassen X0 und XC1 (trocken) nach

DIN EN 1992-1-1 für Gebäude der Gebäudeklasse 1 bis 4 hergestellt werden. Folglich muss der Beton und dessen Verwendung im Rahmen einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung und die Planung und Bemessung von Bauteilen aus diesem Beton in einer allgemeinen Bauartgenehmigung (Kombi-Bescheid abZ/aBG) geregelt werden.

3.2.2 Zulassungsverfahren

Für die Durchführung des Zulassungsverfahrens waren folgende Unterlagen bzw. Nachweise erforderlich:

- Leistungserklärungen der verwendeten Ausgangsstoffe unter Berücksichtigung der Angabe zu den Anforderungen an die Ausgangsstoffe gemäß DIN 1045-2 [2], Anhang E und O,
- stoffliche Zusammensetzung der rezyklierten Gesteinskörnung,
- Vorlage der Eluat- und Feststoffparameter der rezyklierten Gesteinskörnung gemäß DIN 4226-101 [4] für den Nachweis der Umweltverträglichkeit,
- Nachweis der Überwachung der rezyklierten Gesteinskörnung gemäß DIN 4226-102 [9]
- Vorlage der mechanischen und linear-elastischen Kennwerte des Betons (Druckfestigkeit, Biegezugfestigkeit, Elastizitätsmodul, Kriechen und Schwinden),
- Vorlage einer gutachterlichen Stellungnahme zum Trag- und Verformungsverhalten und
- Vorlage der Daten für den Beton und der rezyklierten Gesteinskörnung aus der werkseigenen Produktionskontrolle.

Nach positiver Bewertung der Unterlagen konnte die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) und allgemeine Bauartgenehmigung (aBg) Z-3.51-2184 im Juni 2021 erteilt werden. Somit ist es nun möglich unter den Bedingungen der abZ/aBG Beton mit 100 Vol.-% rezyklierter Gesteinskörnung ähnlich Typ 3 herzustellen und zu verwenden.

4 Beispiel 2: Betonbauteile bestehend aus den Komponenten eines Geopolymers

4.1 Allgemeines

Zur Reduktion der CO₂-Emissionen bei der Betonherstellung können Zemente mit geringem Portlandzementklinkergehalt oder klinkerfreie Bindemittelsysteme eingesetzt werden, wobei Letztere alkalisch aktivierte Bindemittel ohne Zementklinker darstellen. Sowohl in Europa als auch in Deutschland liegen mit solchen Produkten derzeit kaum Erfahrungen vor. Solche Bindemittelsysteme bestehen in der Regel aus Hüttensand und / oder Flugasche und / oder Metakaolin, die mit einem alkalischen Aktivator kombiniert werden.

Die Zusammensetzung eines alkalisch aktivierten Bindemittels ist exakt aufeinander abgestimmt, um die gewünschten Eigenschaften zu erzielen. Die Erhärtung des Betons erfolgt ausschließlich an der Luft und muss durch geeignete Maßnahmen gegen übermäßige Verdunstung geschützt werden, beispielsweise durch Abdecken der Oberfläche mit Folie oder durch Auftragen eines Nachbehandlungsfilms. Erst nach vollständiger Erhärtung werden diese Bindemittelsysteme wasserbeständig.

Das Bindemittelsystem und dessen Verwendung sind aufgrund der exakt aufeinander abgestimmten Zusammensetzung aktuell nicht normativ geregelt. Folglich ist für das Bindemittelsystem eine Zulassung erforderlich. Darüber hinaus müssen die mit einem solchen Bindemittelsystem hergestellten Bauteile in einer Bauartgenehmigung geregelt werden, da diese nicht von DIN EN 1992-1-1 [5] erfasst sind. Derzeit gibt es auf der europäischen Normungsebene Bestrebungen einen technischen Bericht (Technical Report) zur Identifizierung von Merkmalen und Bewertungsmethoden für solche Bindemittelsysteme zu erstellen.

4.2 Geopolymer – ein alkalisch aktiviertes Bindemittel

4.2.1 Allgemeine Angaben

Seit den 1970er-Jahren wird die Forschung zu Geopolymeren kontinuierlich weiterentwickelt. In Australien wurde in diesem Zusammenhang der Geopolymerbeton "Earth Friendly Concrete (EFC)" eingeführt und am Markt etabliert. Für die Verwendung in Deutschland erteilte das DIBt vor einigen Jahren eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) für die Komponenten dieses Geopolymersystems.

Das Geopolymersystem setzt sich aus den pulverförmigen Aktivatoren (A, B und C), einem bestimmten Hüttensandmehl und einer bestimmten Flugasche zusammen. Das Verhältnis Hüttensand zu Flugasche beträgt $75 (\pm 10) \text{ M.-%}$ zu $25 (\pm 10) \text{ M.-%}$. Die pulverförmigen Aktivatoren werden zu Beginn der Betonage in Wasser aufgelöst; die dafür eingesetzte Wassermenge ist vom Zugabewasser abzuziehen. Die detaillierte Beschreibung zur Herstellung der Aktivatorlösung ist im Handbuch zur Herstellung und Verwendung des Geopolymersystems enthalten.

Als Gesteinskörnung darf eine natürliche Gesteinskörnung nach DIN EN 12620 [3] verwendet werden, sofern sie die Anforderungen nach DIN 1045-2, Anhang E [2] erfüllt. Die Komponenten des Geopolymersystems können für Beton und Stahlbeton in den Expositionsclassen X0, XC1 bis XC4, XF1 und XF3, XA1 bis XA3 und in den Feuchtigkeitsclassen WO und WF eingesetzt werden. Wie in Abschnitt 4.1 beschrieben, ist für Betonbauteile aus dem Geopolymersystem neben der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung auch eine allgemeine Bauartgenehmigung erforderlich.

4.2.2 Zulassungsverfahren

Für die Durchführung des Zulassungsverfahrens waren folgende Nachweise erforderlich:

- stoffliche Zusammensetzung der Ausgangsstoffe,
- Zusammensetzung des alkalisch aktivierten Bindemittel-Systems/Geopolymers für die Herstellung von Beton,
- Vorlage der Ergebnisse zum Elutionsversuch am Beton zum Nachweis der Umweltverträglichkeit,
- Nachweis der Unschädlichkeit des Bindemittels im Hinblick auf eine mögliche Alkali-Kieselsäure-Reaktivität, die durch die Aktivatorlösung bei der Gesteinskörnung ausgelöst werden kann,
- Vorlage der mechanischen und linear-elastischen Kennwerte des Betons (Druck-, Spaltzugfestigkeit, Elastizitätsmodul, Kriechen und Schwinden),
- Nachweise zur Dauerhaftigkeit des Betons (Sulfat-, Frost-, Karbonatisierungs- und Chlorideindringwiderstand),
- Gutachterliche Stellungnahme zur Verwendung des Geopolymers und
- Vorlage des Handbuchs zur Herstellung und Verwendung des Geopolymers.

Nach positiver Bewertung der Unterlagen konnte die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-3.15-2157 im September 2019 erteilt werden.

4.2.3 Praxisanwendung

Nachdem 2019 die Zulassung für die Komponenten des Geopolymersystems für Beton erteilt worden war, folgte im Mai 2024 mit der allgemeinen Bauartgenehmigung Z-42.1-606 der erste Bescheid für "Geopolymerbetonrohre für Abwasserleitungen und -kanäle". Diese Genehmigung erlaubt die Herstellung und Anwendung bewehrter und unbewehrter Abwasserrohre aus Geopolymerbeton in den Nennweiten DN 300 bis DN 2400 mit Steckmuffenverbindungen. Die Rohre dürfen in erdverlegten Freispiegleitungen eingesetzt

werden und sind ausschließlich für die Ableitung von Abwasser gemäß DIN 1986-3 [10] zugelassen. Die zulässigen Abwassertemperaturen dürfen dabei die in DIN EN 476 [11] festgelegten Grenzwerte nicht überschreiten.

Bereits 2023 wurde in Schleswig-Holstein eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) sowie eine vorhabenbezogene Bauartgenehmigung (vBG) für die Verwendung des zugelassenen Geopolymers (Z-3.15-2157) in Stahlbetonbauteilen eines Mehrfamilienhauses mit Tiefgarage erteilt. Für das Bauvorhaben wurden sowohl Betonfertigteile als auch Bauteile in Ortbeton mit dem Geopolymer hergestellt, siehe auch Abbildung 1.



Abb. 1: Betonage einer Platte mit Beton aus den Komponenten des Geopolymers; Quelle: DIBt, Berlin

Die Verarbeitung erfordert besondere Maßnahmen: Das Mischfahrzeug darf nicht mit Zementklinker verunreinigt sein, und sowohl Mischvorgang als auch Transport müssen auf die Eigenschaften des Betons abgestimmt werden, insbesondere bei niedrigen Verarbeitungstemperaturen.

4.3 Europäisches Bewertungsdokument (EAD) EAD 150058-00-0301 für "Anorganische Bindemittel auf Basis eines mit Natriumcarbonat aktivierten Hüttensandes"

Bei EOTA wird derzeit das EAD 150058-00-0301 [12] für einen mit Natriumcarbonat aktivierten Hüttensand bearbeitet. Die Veröffentlichung dieser technischen Spezifikation im Amtsblatt der Europäischen Union (OJEU) ist auf der Website der EOTA bereits angekündigt. Neben der detaillierten Beschreibung des Produkts enthält das Dokument auch die erforderlichen Nachweise zur Bewertung und Überprüfung der Leistung.

ETAs, die auf Grundlage des EAD 150058-00-0301 [12] ausgestellt werden, können für die Herstellung von Betonbauteilen nicht ohne eine allgemeine Bauartgenehmigung verwendet werden, da die einschlägigen Normen diese Art von Bindemittelsystemen nicht erfassen. Für alkalisch aktivierte Bindemittelsysteme werden voraussichtlich weitere Bewertungsdokumente erstellt, da die Systeme nicht einheitlich sind und stark von ihrer stofflichen Zusammensetzung abhängen. Sobald nachvollziehbar ist, welche Systeme für den Einsatz im Betonbau besonders geeignet sind, besteht die Möglichkeit, das EAD in eine Produktnorm zu überführen.

5 Beispiel 3: Beton mit klinkerarmem Zement

5.1 Allgemeines

Um den CO₂-Ausstoß zu reduzieren, entwickelt die Zementindustrie zunehmend klinkerarme Zemente. In jüngster Zeit wurden die Portlandkompositzemente CEM II/C-M sowie die Kompositzemente CEM VI in der nicht harmonisierten Zementnorm EN 197-5 [13] aufgenommen. Nach den Vorgaben des zuständigen europäischen Normenausschusses CEN/TC 51 ist für Zemente, die zwar aus Bestandteilen gemäß EN 197-1 [14] bestehen, deren Zusammensetzung jedoch nicht in DIN EN 197-1 abgedeckt ist, ein technisches Dossier zu erstellen. Grundlage hierfür sind die Leitlinien aus DIN CEN/TR 16912 "Leitlinien für ein Verfahren zur Unterstützung der europäischen Normung von Zement" [15].

Das technische Dossier muss Nachweise zu den mechanischen, physikalischen und chemischen Leistungseigenschaften des neuen Zements sowie zu den für die Dauerhaftigkeit relevanten Eigenschaften enthalten. Darüber hinaus sollte grundsätzlich der Einfluss des neuen Zements auf die folgenden, für die Dauerhaftigkeit maßgeblichen Eigenschaften von Beton bzw. Mörtel untersucht werden:

- Druckfestigkeitsentwicklung,
- Beständigkeit gegenüber Korrosion der Bewehrung (z. B. Karbonatisierungs- und Chlorideindringwiderstand, pH-Wert der Porenlösung),
- Frost-Tauwiderstand (ohne Taumittel),
- Frost-Tauwiderstand und Taumittel-Widerstand,
- Schwinden und Kriechen,
- Sulfatwiderstand,
- Widerstand gegen Meerwasser sowie
- Porosität und Durchlässigkeit der Mikrostruktur.

Im CEN/TR 16563 „Verfahrensgrundsätze zum Nachweis gleichwertiger Dauerhaftigkeit“ [16] sind die Prüfverfahren zur Bewertung der Dauerhaftigkeit unter Angabe der jeweiligen Betonzusammensetzungen beschrieben. Auf Grundlage der Vorgaben aus dem CEN/TR 16912 [15] wurde für die neuen Portlandkompositzemente CEM II/C-M sowie die Kompositzemente CEM VI ein technisches Dossier erstellt und dem CEN/TC 51 vorgelegt, das als Basis für die Erarbeitung der entsprechenden Produktnorm diente, die 2021 von CEN veröffentlicht wurde. Auf Basis der Ergebnisse wurde im zuständigen Sachverständigenausschuss des DIBt empfohlen, dass Portlandkompositzemente CEM II/C-M (S-LL) mit Hüttensand und Kalkstein in Beton nach DIN 1045-2 [2] verwendet werden dürfen. Die Verwendung ist, mit Ausnahme der Expositionsklassen XF2 bis XF4, in allen Expositionsklassen zulässig. Diese Regelung wurde in DIN 1045-2 [2] übernommen. Für andere Zement-Kombinationen z. B. CEM II/C-M (V-LL) müssen für *alle* Expositionsklassen Nachweise vorgelegt werden.

Die Entwicklung von Zementen mit reduziertem Klinkergehalt wird fortgesetzt. Damit diese Zemente künftig in der Praxis eingesetzt werden können, müssen die Grenzwertregelungen für die Betonzusammensetzung in kritischen Expositionsklassen der DIN 1045-2 [2] einheitlich überprüft und in einer Zulassung angegeben werden.

5.1.1 Zulassungsverfahren

Für den klinkerarmen Zement werden zwar Ausgangsstoffe gemäß DIN EN 197-1 [14] eingesetzt, der Klinkergehalt unterschreitet jedoch den in dieser Norm festgelegten Mindestwert. Aus diesem Grund darf der Zement nicht als Zement nach DIN EN 197-1 [14] bezeichnet werden, sondern ist entsprechend seiner stofflichen Zusammensetzung zu benennen. Im vorgestellten Fall handelt es sich um einen Portland-Kalkstein-Hüttenzement (PKH). Der angestrebte Klinkergehalt soll mindestens 30 M.-% und der maximale Kalkstein-gehalt soll 37 M.-% betragen. Die Zulassungsprüfung wurde mit der für die Dauerhaftigkeit ungünstigsten

Zusammensetzung durchgeführt. Diese bestand aus 32 M.-% Klinker, 37 M.-% Kalkstein und 33 M.-% Hüttensand. Die erforderlichen Nachweise konnten entweder durch einen leicht abgesenkten Wasserzementwert von $w/z = 0,45$ oder alternativ durch einen deutlich abgesenkten Wasserzementwert von $w/z = 0,35$ erbracht werden.

Im Rahmen des 2016 abgeschlossenen DBU-Forschungsprojekts Nr. 28790/02 "Erforschung des Dreistoffgemisches Klinker, Hüttensand und Kalksteinmehl mit dem Ziel der Absenkung des Klinkeranteils im Zement zur Verminderung der CO₂-Emissionen in der Zementproduktion" wurde der klinkerarme Zement mit unterschiedlichen abgesenkten Wasserzementwerten untersucht. Dabei konnte seine Eignung für Konstruktionsbeton nachgewiesen werden. Im Forschungsprojekt wurden unter anderem folgende Eigenschaften geprüft:

- Druckfestigkeit,
- Chlorideindringwiderstand,
- Karbonatisierung,
- Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand,
- Spaltzugfestigkeit,
- E-Modul,
- Kriechen und Schwinden,
- Robustheit sowie
- Traglastversuche an Bauteilen.

Auf Grundlage dieser Ergebnisse wurde empfohlen, klinkerarme Zemente mit den von DIN 1045-2 [2] abweichenden Grenzwerten für Zusammensetzung und Betoneigenschaften für die beantragten Expositionsklassen (X0, XC1 bis XC4, XS1 bis XS3, XD1 bis XD3, XF1, XA1 und XM1) im Rahmen einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung zu regeln. Für das anschließende Zulassungsverfahren wurden die Nachweise mit einem leicht abgesenkten Wasserzementwert von $w/z = 0,45$ geführt. Im Rahmen der Zulassungsprüfung waren unter anderem folgende Unterlagen und Nachweise erforderlich:

- stoffliche Zusammensetzung der Ausgangsstoffe,
- Zusammensetzung des Zements,
- Zementeigenschaften nach DIN EN 197-1 [14] mit der Ermittlung der Mörteldruckfestigkeit nach DIN EN 196-1 [17] mit einem w/z -Wert von 0,50 und abweichend von der Norm mit einem w/z -Wert von 0,45,
- Vorlage der mechanischen und linear-elastischen Kennwerte des Betons (Druckfestigkeit, Elastizitätsmodul, Kriechen und Schwinden, Verbundverhalten),
- Nachweise zur Dauerhaftigkeit des Betons (Karbonatisierungs-, Chlorideindring- und Frostwiderstand),
- Untersuchungen zur Verarbeitbarkeit des Betons unter Verwendung des neuen Zements,
- Gutachterliche Stellungnahme zur Verwendung des klinkerarmen Portland-Kalkstein-Hüttenzement (PKH).

Die Untersuchungen wurden unter Einbeziehung geeigneter Vergleichsbetone durchgeführt. Nach positiver Bewertung der Unterlagen konnte im Frühjahr 2024 die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-3.16-2243 für einen Portland-Kalkstein-Hüttenzement (PKH) erteilt werden. Zeitgleich wurde auch die Zulassung Z-3.16-2244 für einen weiteren den Portland-Kalkstein-Hüttenzement (PKH) erteilt. Eine zusätzliche allgemeine Bauartgenehmigung für die Herstellung von Bauteilen war nicht erforderlich, da die ermittelten mechanischen und linear-elastischen Kennwerte die uneingeschränkte Anwendbarkeit der DIN EN 1992-1-1 [5, 6, 7] bestätigten. Darüber hinaus erfüllte der Zement bei einem w/z -Wert von 0,50 die Anforderungen der DIN EN 197-1 [14], sodass er unter diesen Bedingungen als Zement nach dieser Norm eingestuft werden konnte. Die Besonderheit dieser Zulassungen besteht darin, dass für diese Zemente abweichende Grenzwerte für die Betonzusammensetzung gemäß DIN 1045-2 [2] festgelegt wurden (siehe Tabelle 2).

Tab. 2: Grenzwerte für die Zusammensetzung und Eigenschaft von Beton gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Z-3.16-2244

Expositionsklassen	XC1	XC2	XC3	XC4	XF1
Höchstzulässiger w/z-Wert	0,75	0,55		0,45	0,45
Mindestdruckfestigkeitsklasse	C16/20	C20/25		C30/37	C30/37
Mindestzementgehalt in kg / m³	240	280		350	350
Mindestzementgehalt bei Anrechnung von Zusatzstoffe in kg / m³	Nicht zulässig				
Mindestluftgehalt	-	-	-	-	-
Andere Anforderungen	-	-	-	-	1)
					F4
1) Gesteinskörnungen für die Expositionsklasse XF1					

5.1.2 Praxisanwendung

Der Portland-Kalkstein-Hüttenzement (PKH) nach Z-3.16-2244 kam beim Betonbau der 32. und 33. Etage des DGNB-zertifizierten Hochhauses EDGE East Side Berlin zum Einsatz [18]. Voraussetzung hierfür war eine engmaschige, KI-gestützte Qualitätskontrolle. Diese wurde durch die enge Zusammenarbeit zwischen Bauherrin, Bauausführung, Zement- und Betonlieferanten sowie einem Unternehmen ermöglicht, das die KI-basierte Qualitätsüberwachung bereitstellte [19].

5.2 Europäisches Bewertungsdokument (EAD) 150080-00-0301 für einen Zement bestehend aus Klinker, Hüttensand und einem hohem Fülleranteil

Das EAD 150080-00-0301 [20] für Zemente mit hohem Fülleranteil, Hüttensand und/oder Puzzolan sowie Portlandzementklinker wurde kürzlich im Amtsblatt der EU veröffentlicht. Es gilt für Zemente, die bislang nicht von der europäischen Norm DIN EN 197-1 [14] erfasst sind. Für die unter Abschnitt 5.1 genannten Portland-Kalkstein-Hüttenzemente (Z-3.16-2243 bzw. Z-3.16-2244) könnte eine ETA auf Basis des EAD ausgestellt werden. Für die Anwendung in Beton nach DIN 1045-2 [2] ist jedoch eine Zulassung erforderlich, da die Norm diese Zementart nicht kennt. Die Bewertungsprüfung muss sicherstellen, dass der Zement in den vorgesehenen Expositionsklassen verwendet werden kann und dass DIN EN 1992-1-1 [5, 6, 7] anwendbar ist. Andernfalls wäre eine aBG erforderlich.

6 Literatur

- [1] United Nations Environment Program (2022) Global Status Report for Building and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Building and Construction Sector. Nairobi, Onlinequelle: [ENGLISH Executive Summary Buildings-GSR.pdf](#) [letzter Zugriff am 13.01.2026]
- [2] Deutsches Institut für Normung (2023) DIN 1045-2:2023-08:Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton; Teil 2: Beton. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [3] Deutsches Institut für Normung (2008) DIN EN 12620:2008-07: Gesteinskörnungen für Beton; Deutsche Fassung EN 12620:2002+A1:2008. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [4] Deutsches Institut für Normung (2017) DIN 4226-101: 2017-08:Rezyklierte Gesteinskörnungen für Beton nach DIN EN 12620 - Teil 101: Typen und geregelte gefährliche Substanzen. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [5] Deutsches Institut für Normung (2007) DIN EN 1992-1-1:2007-11: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010. DIN Media GmbH, Berlin
- [6] Deutsches Institut für Normung (2015) DIN EN 1992-1-1/A1:2015-03 Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004/A1:2014. DIN Media GmbH, Berlin
- [7] Deutsches Institut für Normung (2013) DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. DIN Media GmbH, Berlin
- [8] Deutsches Institut für Normung (2015) DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015-12: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Änderung A1. DIN Media GmbH, Berlin
- [9] Deutsches Institut für Normung (2017) DIN 4226-102:2017-08: Rezyklierte Gesteinskörnungen für Beton nach DIN EN 12620 - Teil 102: Typprüfung und Werkseigene Produktionskontrolle, Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [10] Deutsches Institut für Normung (2024) DIN 1986-3: 2024-05: Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke – Teil 3: Regeln für Betrieb und Wartung, Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [11] Deutsches Institut für Normung (2011) DIN EN 476: 2011-04: Allgemeine Anforderungen an Bauteile für Abwasserleitungen und -kanäle; Deutsche Fassung EN 476:2011; Ausgabe: 2011-04, Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [12] Deutsches Institut für Bautechnik EAD 150058-00-0103: Inorganic Binder based on sodium carbonate Alkali Activated Granulated Blast Furnace Slag (noch nicht veröffentlicht, aber angekündigt)
- [13] Deutsches Institut für Normung (2021) DIN EN 197-5:2021-07: Zement - Teil 5: Portlandkompositzement CEM II/C-M und Kompositzement CEM VI; Deutsche Fassung EN 197-5:2021, Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [14] Deutsches Institut für Normung (2011) DIN EN 197-1:2011-01: Zement - Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement; Deutsche Fassung EN 197-1:2011, Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [15] Deutsches Institut für Normung (2018) DIN CEN/TR 16912:2018-07: Leitlinien für ein Verfahren zur Unterstützung der europäischen Normung von Zement; Deutsche Fassung CEN/TR 16912:2016, Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [16] Deutsches Institut für Normung (2014) DIN CEN/TR 16563:2014-04: Verfahrensgrundsätze zum Nachweis gleichwertiger Dauerhaftigkeit; Englische Fassung CEN/TR 16563:2013, Beuth Verlag GmbH, Berlin

- [17] Deutsches Institut für Normung (2016) DIN EN 196-1:2016-11: Prüfverfahren für Zement – Teil 1: Bestimmung der Festigkeit; Deutsche Fassung EN 196-1:2016, Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [18] Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) e. V. EDGE East Side. Ingenieur.de, Onlinequelle: <https://www.dgnb.de/de/zertifizierung/dgnb-zertifizierte-projekte/projektdetails/edge-east-side> [letzter Zugriff: 13.01.2026]
- [19] Hochwarth, D. (2025) CO₂-reduzierter Beton im Praxistest: EDGE Friedrichspark in Berlin. VDI Verlag GmbH Onlinequelle: [CO₂-reduzierter Beton im Praxistest: EDGE Friedrichspark in Berlin](#) [letzter Zugriff: 13.01.2026]
- [20] Europäische Organisation für Technische Bewertung (EOTA) (2025) EAD 150080-00-0301: Blended cements with high filler content, ground granulated blast-furnace slag or pozzolanic material or both, and clinker

7 Autoren

Dipl.-Ing. Petra Schröder

Deutsches Institut für Bautechnik
Kolonnenstraße 30 B
10829 Berlin
psh@DIBt.de

Dipl.-Ing. Gerhard Breitschaft

Deutsches Institut für Bautechnik
Kolonnenstraße 30 B
10829 Berlin
gbr@DIBt.de

Programm des 22. Symposiums

17. März 2026, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

09:00 Uhr	Anmeldung Kaffee	14:00 Uhr	Kompatibilität von Betonzusatzmitteln mit klinkerarmen Bindemitteln – Praxisprobleme und Lösungsansätze Prof. Dr. Torben Gädt Technische Universität München
09:30 Uhr	Begrüßung Moderation Prof. Dr.-Ing. Frank Dehn Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Mathias Jakob Verband Deutscher Betoningenieure e. V. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Ulrich Nolting InformationsZentrum Beton GmbH	14:30 Uhr	Pragmatisches Bauen in der Schweiz: Wie werden dort Innovationen im Betonbau umgesetzt? Dr.-Ing. Stefanie von Greve-Dierfeld Vertreter im CEN TC 250 SC2 WG110 und Mitglied der SIA 262 AG NA SN EN 1992-1-1
09:45 Uhr	Bemessung und Konstruktion im Betonbau – Herausforderungen bei innovativen Baustoffen Dr. Dipl.-Ing. Susanne Urban Deutscher Beton- und Bautechnikverein (DBV)	15:00 Uhr	Kaffeepause
10:15 Uhr	Dauerhaftes und CO₂-reduziertes Bauen durch die Anwendung der ERC-Richtlinie Dr.-Ing. Angelika Schießl-Pecka Ingenieurbüro Schießl Gehlen Sodeikat GmbH	15:30 Uhr	Normen und Standards – Die gemeinsame Sprache beim Bauen Markus Brunner Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN)
10:45 Uhr	Kaffeepause	16:00 Uhr	Wie ermöglichen Zulassungsverfahren die Verwendung innovativer Bauprodukte? Gerhard Breitschaft Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt)
11:15 Uhr	Beton ist grün - und die Sache mit dem Baustellenmarketing Uwe Kopf Stadt Konstanz, Tiefbauamt	16:30 Uhr	Zusammenfassung Schlusswort Prof. Dr.-Ing. Frank Dehn Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Mathias Jakob Verband Deutscher Betoningenieure e. V. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Ulrich Nolting InformationsZentrum Beton GmbH
11:45 Uhr	Senkung der Klimawirkung im Betonbau – die U5 als Leuchtturm für klimaschonenden urbanen Verkehrsinfrastrukturbau Hannah Schönettin HOCHBAHN U5 Projekt GmbH	16:45 Uhr	Umtrunk Imbiss
12:15 Uhr	Mittagspause		
13:30 Uhr	Klimafreundliche Zemente und Betone: Eigenschaften und Kennzeichnung Prof. Dr.-Ing. Christoph Müller Verein Deutscher Zementwerke (VDZ)		

Autorenverzeichnis

22. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung

Bauen mit Beton für morgen – Umsetzung von Innovationen in der Praxis

Gerhard Breitschaft

Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt),
Kolonnenstraße 30 B, 10829 Berlin

Markus Brunner

Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN),
Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin

Dr. Joachim Dengler

Sika Deutschland CH AG & Co KG,
Kornwestheimer Straße 103-107, 70439 Stuttgart

Prof. Dr.-Ing. Frank Fingerloos

Deutscher Beton- und Bautechnik Verein E.V.
Kurfürstenstraße 129, 10785 Berlin

Prof. Dr. Torben Gädt

Lehrstuhl für Bauchemie, Technische Universität München,
Lichtenbergstraße 4, 85748 Garching

Uwe Kopf

Stadt Konstanz - Tiefbauamt,
Untere Laube 24, 78459 Konstanz

Prof. Dr.-Ing. Christoph Müller

VDZ Technology gGmbH,
Toulouser Allee 71, 40476 Düsseldorf

David Ov

Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V.,
Budapester Straße 31, 10787 Berlin

Dr.-Ing. Angelika Schießl-Pecka

Ingenieurbüro Schiessl Gehlen Sodeikat GmbH
Landsberger Straße 370, 80687 München

Hannah Schönettin

Hochbahn U5 Projekt GmbH,
Überseering 10, 22297 Hamburg

Dipl.-Ing. Petra Schröder

Deutsches Institut für Bautechnik
Kolonnenstraße 30 B, 10829 Berlin

Dr. Dipl.-Ing. Susanne Urban

Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e. V. (DBV),
Kurfürstenstraße 129, 10785 Berlin

Prof. Dr.-Ing. Udo Wiens

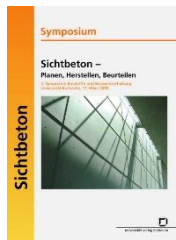
Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V.,
Budapester Straße 31, 10787 Berlin

Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung

Themen vergangener Symposien (2004-2025)



1. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung
Instandsetzung bedeutsamer Betonbauten der Moderne in Deutschland
Hrsg. H. S. Müller, U. Nolting, M. Vogel, M. Haist
ISBN 978-86644-098-2



2. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung
Sichtbeton – Planen, Herstellen, Beurteilen
Hrsg. H. S. Müller, U. Nolting, M. Haist
ISBN 3-937300-43-0



3. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung
Innovationen in der Betonbautechnik
Hrsg. H. S. Müller, U. Nolting, M. Haist
ISBN 3-86644-008-1



4. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung
Industrieböden aus Beton
Hrsg. H. S. Müller, U. Nolting, M. Haist
ISBN 978-3-86644-120-0



5. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung
Betonbauwerke im Untergrund – Infrastruktur für die Zukunft
Hrsg. H. S. Müller, U. Nolting, M. Haist
ISBN 978-3-86644-214-6



6. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung
Dauerhafter Beton – Grundlagen, Planung und Ausführung bei Frost- und Frost-Taumittel-Bearbeitung
Hrsg. H. S. Müller, U. Nolting, M. Haist
ISBN 978-3-86644-341-9



7. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung

Beherrschung von Rissen in Beton

Hrsg. H. S. Müller, U. Nolting, M. Haist

ISBN 978-3-86644-487-4



8. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung

Schutz und Widerstand durch Betonbauwerke bei chemischen Angriff

Hrsg. H. S. Müller, U. Nolting, M. Haist

ISBN 978-3-86644-654-0



9. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung

Nachhaltiger Beton – Werkstoff, Konstruktion und Nutzung

Hrsg. H. S. Müller, U. Nolting, M. Haist, M. Kromer

ISBN 978-3-86644-820-9

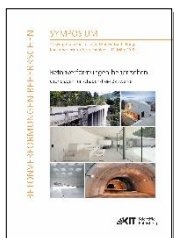


10. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung

Gestalteter Beton – Konstruieren in Einklang von Form und Funktion

Hrsg. H. S. Müller, U. Nolting, M. Haist, M. Kromer

ISBN 978-3- 73150-179-4



11. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung

Betonverformungen beherrschen – Grundlagen für schadensfreie Bauwerke

Hrsg. H. S. Müller, U. Nolting, M. Haist, M. Kromer

ISBN 978-3-7315-0343-9



12. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung

Bauwerkserhaltung – Instandsetzung im Beton- und Stahlbetonbau

Hrsg. H. S. Müller, U. Nolting, M. Haist

ISBN 978-3-7315-0474-0

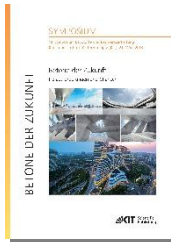


13. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung

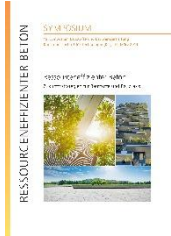
Sicherheit durch Beton – Schutz vor Explosion, Brand und Risikostoffen

Hrsg. H. S. Müller, U. Nolting, J. Link

ISBN 978-3-7315-0629-4



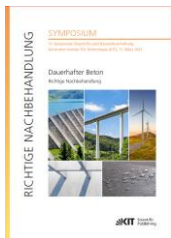
14. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung
Betone der Zukunft – Herausforderungen und Chancen
 Hrsg. U. Nolting, F. Dehn, J. Link
 ISBN 978-3-7315-0767-3



15. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung
Ressourceneffizienter Beton – Zukunftsstrategien für Baustoffe und Baupraxis
 Hrsg. U. Nolting, F. Dehn, J. Link, V. Mercedes Kind
 ISBN 978-3-7315-0993-6



16. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung
Klima, Risse und Co. – Betonbau im herausfordernden Umfeld
 Hrsg. U. Nolting, F. Dehn, V. Mercedes Kind
 ISBN 978-3-7315-0994-3



17. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung
Dauerhafter Beton - Richtige Nachbehandlung
 Hrsg. U. Nolting, F. Dehn, V. Mercedes Kind
 ISBN 978-3-7315-1073-4



18. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung
Gutes Klima für die Zukunft.
Dekarbonisierung als wichtiger Schlüssel zum nachhaltigen Bauen mit Beton
 Hrsg. U. Nolting, F. Dehn, V. Mercedes Kind
 ISBN 978-3-7315-1163-2



19. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung
Bauen mit Beton im Kreislauf
Recycling, Re-Use und Ressourcenschonung
 Hrsg. U. Nolting, F. Dehn, V. Mercedes Kind
 ISBN 978-3-7315-1270-7



20. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung
Bauen mit rezyklierten mineralischen Baustoffen -
Von der Ausnahme zur Regelbauweisen
 Hrsg. U. Nolting, F. Dehn, V. Mercedes Kind, M. Denu
 ISBN 978-3-7315-1338-4



21. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung
**Klimaeffizientes Bauen -
Baustoffe und Bauweisen**
Hrsg. U. Nolting, F. Dehn, M. Denu
ISBN 978-3-7315-1413-8

Alle Bände sind kostenfrei als Download bei **KIT Scientific Publishing** (<http://www.ksp.kit.edu>) oder für einen Unkostenbeitrag im Buchhandel erhältlich.

In den vergangenen Symposien wurde umfassend beleuchtet, wie die Zement- und Betonindustrie zur Reduzierung der weltweiten CO₂-Emissionen beitragen kann. Dabei wurden unterschiedliche Ansätze und Perspektiven aufgezeigt, die verdeutlichten, wie groß die Bandbreite an technologischen Innovationen und konzeptionellen Ideen ist. Das diesjährige Symposium rückt die konkrete Anwendung und Realisierung dieser Ansätze ins Zentrum. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf der Frage, inwiefern bestehende und neue Regelwerke das klimaeffiziente Bauen mit Beton unterstützen oder einschränken. Das soll anhand des neuen Eurocodes 2 sowie der ERC-Richtlinie des DAfStb mit Blick auf Dauerhaftigkeitsbemessung und Expositionsklassen betrachtet werden, um deren Relevanz für die Praxis besser einschätzen zu können. Anschließend werden anhand von konkreten Ökobilanzierungen und Projekten Beispiele von innovativen Bauweisen in der Praxis aufgezeigt. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf klinkerreduzierten Zementen – von den technischen Anforderungen über die Akzeptanz bis hin zur Kommunikation. Ergänzend zeigt ein Blick in die Schweiz, welche Impulse sich aus dortigen Entwicklungen ableiten lassen. Zum Abschluss werden die Kompatibilität von Betonzusatzmitteln und Bindemitteln, der Umgang von Bauherren mit innovativen Produkten im Ausland sowie der Einfluss der Normung und jener von Zulassungen auf Innovationen im Betonbau beleuchtet.

Schirmherrschaft:



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

www.betoninstitut.de
www.beton.org
www.betoningenieure.de

ISBN 978-3-7315-1468-8

