

Wandel im Betonbau – Aktuelle Herausforderungen

Prof. Dr.-Ing. Rolf Breitenbücher, Prof. Dr.-Ing. Udo Wiens, Mirsada Omercic
Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V., Budapester Straße 31, 10787 Berlin
E-Mail: info@dafstb.de, Telefon: +49 30 26931320

Zusammenfassung

Der Bausektor wird von Politik und Öffentlichkeit als einer der größten Verbraucher von Ressourcen und als Verursacher hoher CO₂-Emissionen wahrgenommen und steht deshalb bereits seit längerem im Fokus von Klimaschutz- und Nachhaltigkeitsdiskussionen. Zur Unterstützung der im „Grünen Deal“ der EU und im Klimaschutzgesetz (KSG) der Bundesrepublik vorgezeichneten ambitionierten Ziele hat der DAfStb eine Roadmap „Nachhaltig bauen mit Beton“ erarbeitet. Diese beinhaltet konkrete kurz- und mittelfristige Maßnahmen zur Umsetzung der Nachhaltigkeitsziele, aus denen dann weitere langfristig angelegte Vorhaben (Forschung, Richtlinien, Normung) entwickelt werden.

1 Nachhaltig bauen mit Beton – Roadmap des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) für einen klimagerechten und ressourceneffizienten Betonbau (2021)

Die Umsetzung von Nachhaltigkeitszielen im Bauwesen hat in den vergangenen 20 Jahren an Bedeutung gewonnen. Zertifizierungssysteme des Bundes (Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen BNB, [1]) und der Privatwirtschaft (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen DGNB, [2]) sind nur zwei herausragende Beispiele, die zeigen, wie die 3 Säulen der Nachhaltigkeit anhand vorgegebener Kriterien zur ökologischen und ökonomischen Qualität, zur soziokulturellen, funktionalen und technischen Qualität sowie zur Prozessqualität für das Bauen spezifiziert und bewertet werden.

Im Dezember 2019 haben sich die Staats- und Regierungschefs der EU im Rahmen des „Grünen Deals“ zum Ziel der Klimaneutralität bis 2050 bekannt [3]. Die Europäische Kommission hat zudem im April 2021 mit der EU-Taxonomie [4] ein Maßnahmenpaket zur Unterstützung des „Grünen Deals“ vorgelegt, das dazu beitragen soll, in der Europäischen Union mehr Geld in nachhaltige Tätigkeiten zu lenken. Anleger werden in die Lage versetzt, ihre Investitionen verlässlich und ohne „Greenwashing“ auf nachhaltigere Technologien und Unternehmen umzustellen. Auf globaler Ebene will die EU bei der Festlegung von Standards für ein nachhaltiges Finanzwesen eine Führungsrolle übernehmen.

Nach dem Beschluss des Bundesverfassungsgerichts vom 29. April 2021 und mit Blick auf das neue europäische Klimaziel 2030 hat die Bundesregierung am 12. Mai 2021 ein gegenüber der Fassung aus 2019 und den genannten europäischen Zielen verschärftes Klimaschutzgesetz 2021 vorgelegt [5]. Der Bundestag hat die Klimaschutznovelle am 24. Juni 2021 beschlossen. Mit dem neuen Klimaschutzgesetz begegnet die Bundesregierung den besonderen Herausforderungen, die mit dem Klimawandel verbunden sind. Mit dem geänderten Klimaschutzgesetz werden die Zielvorgaben zur CO₂-Einsparung angehoben. Das Minderungsziel für 2030 steigt um 10 %-Punkte auf mindestens 65 %. Das heißt, Deutschland soll bis zum Ende des Jahrzehnts seinen Treibhausgas-Ausstoß um 65 % gegenüber dem Jahr 1990 verringern. Die höheren Ambitionen wirken sich auch auf die Kohlendioxid-Minderungsziele bis zum Jahr 2030 in den einzelnen Sektoren aus: in der Energiewirtschaft, der Industrie, im Verkehrssektor, im Gebäudebereich und in der Landwirtschaft. Die Klimaziele werden kontinuierlich per Monitoring überprüft. Für das Jahr 2040 gilt ein Minderungsziel von mindestens 88 %. Auf dem Weg dorthin sieht das Gesetz in den 2030er Jahren konkrete jährliche Minderungsziele vor. Bis 2045 soll die Treibhausgasneutralität erreicht sein.

Die Umsetzung dieser Nachhaltigkeitsziele fügt sich nahtlos in die Agenda 2030 „Ziele für nachhaltige Entwicklung“ der Vereinten Nationen mit ihren 17 Zielen ein [6].

Baustoffindustrie und Bauwirtschaft haben damit begonnen, jeweils für sich Lösungsansätze zu entwickeln, um die Inanspruchnahme von Ressourcen und die Mengen an emittierten Treibhausgasen in der eigenen Wertschöpfung zu reduzieren. Die Betonbauweise muss ihren Beitrag zur Reduzierung von Treibhausgas-Emissionen leisten, trägt die Zementherstellung – global betrachtet – doch mit rund 6 bis 7 % zur anthropogen verursachten CO₂-Freisetzung bei. Dies hat z. B. der Verein Deutscher Zementwerke e. V. zum Anlass genommen, im November 2020 eine eigene Roadmap „Dekarbonisierung von Zement und Beton – Minderungspfade und Handlungsstrategien“ herauszugeben [7], was die Dringlichkeit unterstreicht.

Es gilt, die erforderlichen Schritte unverzüglich anzugehen, um agieren zu können und nicht später auf von anderen Stellen festgelegte Maßnahmen nur mehr reagieren zu müssen. Es geht um den Betonbau insgesamt. Die jetzt zu treffenden Maßnahmen werden für lange Zeit richtungsweisend sein. Somit handelt es sich unstrittig um eine Kernaufgabe des DAfStb und damit auch um ein Thema, dessen sich der DAfStb im Vorstand, in den Technischen Ausschüssen, Unterausschüssen und Arbeitsgruppen jetzt strategisch und mit der erforderlichen Priorität annehmen wird. Nur wenn es gelingt, in allen Teilen der Wertschöpfungskette und über den gesamten Lebenszyklus die Reduktionspotenziale für klimaschädliche Emissionen vollständig auszuschöpfen, kann das ambitionierte Gesamtziel erreicht werden.

Die durch den DAfStb-Vorstand am 27. September 2021 anlässlich seiner 50. Sitzung verabschiedete Roadmap dient dazu, die genannten Zielsetzungen in einen nachhaltigen Betonbau zu integrieren und durch Forschungsaktivitäten und Regelwerksprojekte entlang der gesamten Wertschöpfungskette im Betonbau in den kommenden Jahren umzusetzen. Im Folgenden werden einzelne Projekte der Roadmap vorgestellt, die derzeit prioritär im DAfStb behandelt werden.

2 Maßnahmen des DAfStb zur Umsetzung der Roadmap

2.1 Technischer Ausschuss „Nachhaltig bauen mit Beton“ (2021)

Mit der Fokussierung auf das klimagerechte und ressourceneffiziente Bauen mit Beton will der DAfStb den Transformationsprozess und den Wandel zur Treibhausgasneutralität bis zum Jahr 2045 kontinuierlich begleiten und die hierfür erforderlichen Weichenstellungen veranlassen. Mit der Einrichtung und Konstituierung des Technischen Ausschusses „Nachhaltig bauen mit Beton (TA NBB)“ Ende 2021 unter der Leitung der Herren Professoren Haist (Leibniz Universität Hannover) und Glock (Technische Universität Kaiserslautern) hat der DAfStb in seiner Arbeitsstruktur ein Gremium eingesetzt und mit Entscheidern aller interessierten Kreise im DAfStb besetzt, das die Roadmap fortschreiben und in einem ersten wesentlichen Schritt Benchmark-Größen entwickeln soll. Gleichzeitig sollen diese die Grundlage für die Umsetzung der ambitionierten CO₂-Minderungsziele im Betonbau bilden. Zudem werden im TA NBB Ideen für Verbundforschungsprojekte und Konzepte für die Regelwerksetzung entwickelt, die unter Einbeziehung der anderen Technischen Ausschüsse und Unterausschüsse umgesetzt werden.

2.2 Herausgabe einer Planungshilfe zum nachhaltigen Bauen mit Beton (2021) [8]

Einer der bereits umgesetzten Meilensteine der Roadmap des DAfStb ist die Planungshilfe „Nachhaltig bauen mit Beton“ des DAfStb [8] für Bauwerke des üblichen Hochbaus (Wohnungsbauten, Verwaltungsgebäude, Veranstaltungsbauten, Einkaufszentren, Industriehallen etc.). Alle Maßnahmen der Planungshilfe richten sich an folgenden wesentlichen Zielen der Nachhaltigkeit aus:

- eine unverzügliche und drastische Reduzierung der CO₂-Emissionen als Maßnahme zum Klimaschutz,

- Vorsorge leisten für die bereits vorhandenen Folgen des Klimawandels,
- Ressourcenschonung und Materialoptimierung.

Die Planungshilfe dient Investoren, Bauherren, Planern, Ausführenden und Vertretern der Bauaufsicht für Entscheidungsprozesse beim nachhaltigen Bauen mit Beton. Sie zeigt auf, wie mit dem bereits vorhandenen Regelwerk im Betonbau nachhaltig geplant und gebaut werden kann und verdeutlicht Wechselwirkungen zwischen den Maßnahmen, ohne die planerische Flexibilität zu stark einzuschränken. Eine ressourcenschonende Optimierung bei der Betonbauweise kann z. B. unter verschiedenen (vergleichsweise einfachen) Aspekten erfolgen:

- Eine statische Optimierung der Bauwerke oder Bauteile aus Stahlbeton mit einfachen, geradlinigen Lastpfaden ohne Umwege durch widersprüchliche Planungsprozesse oder Umplanung führt zu Material- und Gewichtseinsparungen (weniger Beton, weniger Bewehrung). Generell sollte materialgerecht konstruiert werden. Überdrückte Massivbaustrukturen reagieren dabei auf die Bauwerkslast deutlich resilienter und sind entsprechend dauerhafter als Bauwerksteile unter Zug- oder Lastwechselbeanspruchung. Beton in Querschnittsbereichen ohne Funktion sollte ausgespart werden.
- Bei Betonbauwerken kann eine herstellungstechnische Optimierung zu weniger Abfall und einer kürzeren Produktionszeit genutzt werden (z. B. Herstellung möglichst vieler gleicher Bauteilquerschnitte oder Optimierung von Einzelkomponenten des Bauwerkes).
- Eine Optimierung der Betonrezeptur führt zur Reduzierung der CO₂-Emissionen ohne Verlust an Widerstandsfähigkeit und Dauerhaftigkeit, so dass in der Regel keine Beschichtungen erforderlich sind sowie reinigungs- und wartungsarme Oberflächen entstehen. Sofern regional verfügbar, können Zemente mit reduziertem Gehalt an Portlandzementklinker (z. B. CEM II- oder CEM III-Zemente) einen deutlichen Beitrag zur Verringerung der CO₂-Emissionen leisten.

In dem BMBF-Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“ des DAfStb aus den Jahren 2005 bis 2009 bis wurde unter anderem festgestellt, dass im Geschossbau die Ökobilanz der gesamten Tragstruktur im Wesentlichen durch eine geschickte Planung der Geschossdecken verbessert werden kann [9]. Dabei hat die verbaute Betonmenge einen größeren Einfluss auf die Ökobilanz als die Festigkeitsklasse des Betons. Um eine optimale Abtragung der Lasten sicherzustellen, sollten alle tragenden Elemente übereinander liegen. Durch diese Maßnahme können Beton- und Betonstahlmengen reduziert werden.

Die Planungshilfe wurde als erste konkrete Maßnahme zeitgleich zur Roadmap veröffentlicht. Bei Bedarf bietet der DAfStb Seminare oder Vorträge zur Planungshilfe an (begrenzte Kapazität).

2.3 Überarbeitung der Grundsätze des nachhaltigen Bauens mit Beton (GrunaBau) [10]

Als Kerndokument für die Strukturierung und Priorisierung der weiteren DAfStb-Projekte dienen die bereits in einem weit entwickelten Gelbdruckentwurf aus 2014 vorliegenden Grundsätze des nachhaltigen Bauens mit Beton (GrunaBau, [10]), in denen die drei Säulen der Nachhaltigkeit für den Betonbau spezifiziert werden. Analog zu den Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen (GRUSIBAU, [11]), die die Grundlagen der Sicherheitsanforderungen für den Betonbau festlegt (Vorläufer von EN 1990), stellt die GrunaBau anhand der europäischen Normen des CEN/TC 350 die wesentlichen Grundvorgaben für das nachhaltige, ressourceneffiziente und klimaschonende Bauen mit Beton zusammen. Diese werden durch Hinweise konkretisiert, die als Hilfestellung bei der Planung und zur Ausarbeitung von weitergehenden Anwendungsregeln, z. B. in Form von Richtlinien oder Normen, genutzt werden können.

Zukünftige Betonnormen und Richtlinien werden stets unter Einbeziehung der GrunaBau als Strukturierungsinstrument hinsichtlich ihres Beitrages zum nachhaltigen Bauen mit Beton betrachtet. Die Veröffentlichung der überarbeiteten GrunaBau wird im Laufe des Jahres 2023 erwartet.

2.4 DAFStb-Richtlinie „Dauerhaftigkeit nach dem System der Expositionswiderstandsklassen des neuen EC 2 in Verbindung mit Performanceprüfungen“ [12]

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 Herangehensweise, die Dauerhaftigkeit von Beton mit einfachen Parametern der Betonzusammensetzung wie Zementart, Wassermenge, Mindestdruckfestigkeitsklasse oder Mindestzementgehalt zu beschreiben, an ihre Grenzen, da mit ökologisch optimierten Zementen oder industriell hergestellten Gesteinskörnungen anstelle von natürlichen Gesteinskörnungen wie Kies oder Sand keine langfristigen Erfahrungen vorliegen.

Alternativwege, bei denen die Leistungsfähigkeit von Beton über eine sogenannte Lebensdauerbemessung in Verbindung mit dem Performance-Prinzip, das heißt über geeignete Prüfungen, erfasst wird, sind zwar für einige Bauwerkseinwirkungen bereits recht weit entwickelt, es fehlt aber an der Einordnung der Ergebnisse in den bisherigen, auf deskriptiven Anforderungen fußenden, praktischen Erfahrungsschatz. Darüber hinaus gibt es auch zu bereits existierenden Prüfverfahren Vorbehalte, da ihre Ergebnisse nicht immer mit den Praxiserfahrungen übereinstimmen.

Performancebasierte Ansätze, mit denen neue (z. B. ressourcenschonendere) oder bereits vorhandene Betonrezepturen hinsichtlich ihrer Dauerhaftigkeit zielsicher beurteilt und optimiert werden können, sollen der Praxis durch das System der Expositionswiderstandsklassen im neuen Eurocode 2 [13] an die Hand gegeben werden [14]. Um das Konzept möglichst schnell in Deutschland umzusetzen, enthält die Roadmap des DAFStb ein entsprechendes Richtlinienprojekt, das sich derzeit in der Konzeptionierungsphase befindet.

2.5 DAFStb-Richtlinie „Fertigteilhohlplatten“ [15]

In [9] werden verschiedene Nachhaltigkeitsaspekte anhand eines eigens entwickelten Referenzgebäudes, dem sogenannten „Stadtbaustein“ mit einer Tragstruktur aus Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen, eingehend untersucht. Mit der detaillierten ökologischen und ökonomischen Analyse des Stadtbausteins, der repräsentativ für eine innerstädtische Bebauung (Lückenschluss) mit wechselnder Wohn- und Büronutzung gestaltet wurde, werden folgende Einzelziele verfolgt:

- Konkretisierung des nachhaltigen Bauens mit Beton anhand des Stadtbausteins,
- Darstellung der Einflussmöglichkeiten auf die ökonomischen und ökologischen Aufwendungen von Gebäuden mit einer Tragstruktur aus Beton in den Bereichen „Entwurf“, „Baustoffherstellung“ und „Bemessung“,
- Darstellung des Anteiles der Tragstruktur aus Beton an der Gesamtökobilanz und den Lebenszykluskosten des Gebäudes,
- Weiterentwicklung der GrunaBau [9] durch Sensitivitätsanalysen bei den Eingangsgrößen auf Bauteil-, Tragwerks- und Gebäudeebene.

Das Heft 588 [9] richtet sich gleichermaßen an Forschungseinrichtungen, die sich mit dem nachhaltigen Bauen mit Beton befassen, an Fachplaner und Architekten, an Baustoffhersteller, Bauunternehmen sowie an Bauherren. Nach einer allgemeinen Beschreibung des Anforderungsprofils für den Stadtbaustein erfolgt die Darstellung der betrachteten Nutzungsprofile anhand eines ausgewählten Nutzungsszenarios. Dabei wird unterschieden in eine Standardvariante und eine Flexible Variante des Stadtbausteins, die jeweils Phasen der Büronutzung und der Wohnnutzung beinhalten.

In [9] konnte gezeigt werden, dass erhebliche CO₂-Mengen bei der Herstellung von Deckenbauteilen emittiert werden. Eine Möglichkeit, die Ressourceneffizienz zu steigern und gleichzeitig die Umnutzbarkeit von Tragstrukturen aus Beton über den Lebenszyklus zu verbessern, ist der Einsatz

von vorgespannten Deckensystemen mit großen Spannweiten (z. B. ausgeführt als vorgespannte Stegplatte der Druckfestigkeitsklasse C50/60 mit Öffnungen, Bild 1).

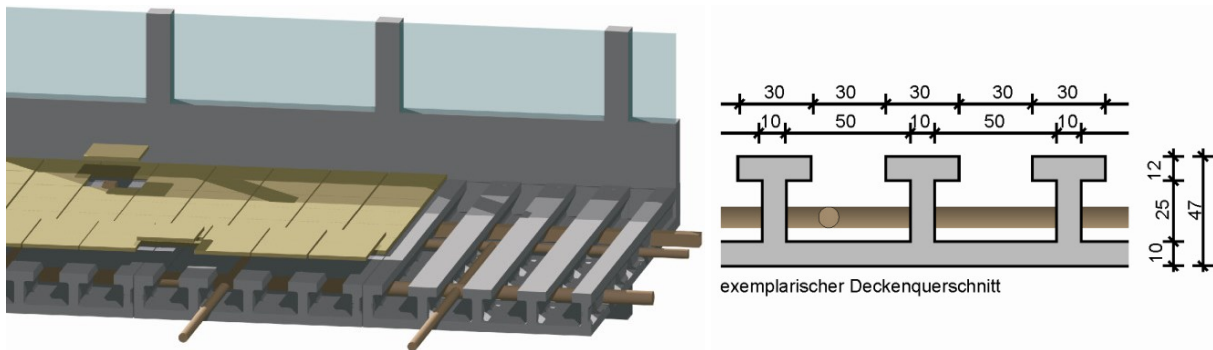


Bild 1 Deckensystem der flexiblen Struktur im Referenzgebäude „Der Stadtbaustein“ mit integrierter Leitungsführung. Abbildung aus [9]

Fertigteilhohlplatten können gleichermaßen einen Beitrag zur Nachhaltigkeit leisten. Im August 2022 wird der Weißdruck der DAfStb-Richtlinie Betondecken und -dächer aus Fertigteilhohlplatten [15] erwartet, der die Planung, die Bemessung und die Ausführung von schlaff bewehrten und vorgespannten Deckenkonstruktionen regeln wird.

2.6 Neue DIN 1045

Mit der neuen Normenreihe der E DIN 1045:2022 (Entwurf) wird eine in sich geschlossene Normengeneration für den Betonbau geschaffen, die den Gedanken der Betonbauqualität vollständig umsetzt [16]. Sie berücksichtigt die Komplexität der Bauaufgabe durch Einführung von drei Klassen (BBQ-N, BBQ-E und BBQ-S), die mit Hilfe der notwendigen Anforderungen an:

- die Planung (PK-N bis PK-S),
- den Beton (BK-N bis BK-S) und
- die Ausführung (AK-N bis AK-S)

differenziert festgelegt werden. Schnittstellenprobleme werden dadurch ausgeräumt, dass in den Klassen BBQ-E und BBQ-S verbindliche Ausschreibungs- und Ausführungsgespräche unter Einbeziehung der maßgebenden Experten vorgeschrieben werden.

Ohne eine schnittstellenübergreifende Kommunikation und Festlegung von Aufgaben und Verantwortlichkeiten zwischen Objektplaner, Tragwerkplaner und TGA-Planer kann nachhaltiges Bauen mit Beton nicht gelingen. Daher wurde in E DIN 1045-1000:2022-07 [17] der Anwendungsfall „Betonbauwerke mit besonderen Anforderungen hinsichtlich Nachhaltigkeit (insbesondere Klimaschutz, Ressourceneffizienz)“ integriert und in die BBQ-S-Klasse „Bauwerke mit besonders festzulegenden Anforderungen an Planung, Baustoffe und Bauausführung und Kommunikation“ eingestuft. In einem ersten Schritt kann z. B. die Planungshilfe (s. Abschnitt 2.2) vereinbart werden. Die neue DIN-1045-Normenreihe wird nach Abschluss des Einspruchverfahrens voraussichtlich im Laufe des Jahres 2023 erscheinen.

2.7 Projekte zur Mitigation/Adaption

Ende 2020 wurde ein Unterausschuss „Betonbau bei höheren Temperaturen“ unter dem Technischen Ausschuss „Betontechnik“ eingerichtet, der sich mit den Konsequenzen und ggf. zu ergreifenden Maßnahmen auseinandersetzt, die sich aus den in den Sommermonaten klimabedingt erhöhten Betontemperaturen im gesamten Betonbau ergeben. Hintergrund hierzu ist, dass die in der heutigen Betonnorm enthaltene Empfehlung einer auf 30 °C begrenzten Frischbetontemperatur vielfach nicht eingehalten werden kann.

Der Unterausschuss hat erste Vorschläge zu einer moderaten Erhöhung der höchstzulässigen Frischbetontemperatur auf 35 °C mit konkretisierten Anwendungseinschränkungen entwickelt, die

sicherstellen, dass die Bauteilbemessung ohne zusätzlichen Aufwand nach DIN EN 1992-1-1 durchgeführt werden kann. Dieser Ansatz soll Eingang in eine DAfStb-Richtlinie oder die neue DIN 1045 finden.

Literatur

- [1] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen [Hrsg.] (2019) *Leitfaden Nachhaltiges Bauen* [online]. Berlin: Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB). https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/fileadmin/publikationen/BBSR_LFNB_D_190125.pdf. [Zugriff am 18. August 2022].
- [2] Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen [Hrsg.] (2022) *Das DGNB Zertifizierungssystem* [online]. Stuttgart: Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen. <https://www.dgnb-system.de/de/system/index.php>. [Zugriff am 18. August 2022].
- [3] Europäische Kommission (2019) *Der europäische Grüne Deal* [online]. Brüssel: Europäische Kommission. https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/european-green-deal-communication_de.pdf. [Zugriff am 18. August 2022].
- [4] Europäisches Parlament und Rat [Hrsg.] (2020) *Verordnung (EU) 2020/852 über die Einrichtung eines Rahmens zur Erleichterung nachhaltiger Investitionen und zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/2088* [online]. Brüssel: Amtsblatt der Europäischen Union L 198/13 vom 22. Juni 2020. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=uriserv:OJ.L_.2020.198.01.0013.01.DEU. [Zugriff am 18. August 2022].
- [5] Bundesministerium der Justiz auf Beschluss des Deutschen Bundestages [Hrsg.] (Ausfertigungsdatum 12. Dezember 2019, geändert am 18. August 2021) *Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG)* [online]. Berlin: Bundesministerium der Justiz. <https://www.gesetze-im-internet.de/ksk/KSG.pdf>. [Zugriff am 18. Aug. 2022].
- [6] Vereinte Nationen (2016) *Ziele für nachhaltige Entwicklung* [online]. Bonn: Regionales Informationszentrum der Vereinten Nationen. <https://unric.org/de/17ziele/>. [Zugriff am 18. August 2022].
- [7] Verein Deutscher Zementwerke e. V. [Hrsg.] (2020). *Dekarbonisierung von Zement und Beton – Minderungsprofile und Handlungsstrategien* [online]. Düsseldorf: Verein Deutscher Zementwerke e. V. https://www.vdz-online.de/fileadmin/wissensportal/publikationen/zementindustrie/VDZ-Studie_Dekarbonisierung_von_Zement_und_Beton.pdf. [Zugriff am 18. August 2022].
- [8] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton [Hrsg.] (2021) *Planungshilfe Nachhaltig bauen mit Beton* [online]. Berlin: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton. http://www.dafstb.de/application/nachhaltigkeit/2021-10-29_DAfStb-Planungshilfe_Nachhaltig_Bauen_mit_Beton_final.pdf. [Zugriff am 18. August 2022].
- [9] Graubner, C.-A. et al. (2014) *Der Stadtbaustein im DAfStb/BMBF-Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“ – Dossier zu Nachhaltigkeitsuntersuchungen* [Schlussbericht zum TP A im Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“]. in: Deutscher Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) [Hrsg.] Schriftenreihe des DAfStb, Heft Nr. 588. Berlin: Beuth Verlag.
- [10] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton [Hrsg.] (2014) *Grundsätze des nachhaltigen Bauens mit Beton*. Gelbdruck 07/2014, unveröffentlicht.
- [11] Deutsches Institut für Normung e. V. [Hrsg.] (1981) *Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen GruSiBau*. Berlin: Beuth Verlag.
- [12] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton [Hrsg.] (2022) *DAfStb-Richtlinie Dauerhaftigkeit nach dem System der Expositionswiderstands-Klassen des neuen EC 2 in Verbindung mit Performanceprüfungen*. (in Vorbereitung).
- [13] E DIN EN 1992-1-1:2021-10 (2021) *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für Hochbauten, Brücken- und Ingenieurbauwerke*. Berlin: Beuth Verlag.
- [14] Wiens, U. (2022) *Dauerhaftigkeit von Betonbauteilen nach dem Performance-Prinzip*. Gutes Klima für die Zukunft – Dekarbonisierung als wichtiger Schlüssel zum nachhaltigen Bauen mit Beton – Tagungsband des 18. Symposiums „Baustoffe und Bauwerkserhaltung“ am Karlsruher Institut für Technologie, 10. März 2022, S. 23 ff. <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000141938/147828456>
- [15] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton [Hrsg.] (2022) *DAfStb-Richtlinie Betondecken und -dächer aus Fertigteilhohlplatten*. (erscheint in Kürze).
- [16] Breitenbücher, R. (2022) *Neue Normengeneration DIN 1045 auf der Zielgeraden*. beton, H. 5, S. 138–141.
- [17] E DIN 1045-1000:2022-07 (2022) *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1000: Grundlagen und Betonbauqualitätsklassen (BBQ)*. Berlin: Beuth Verlag.