

Nachhaltigkeit, Dauerhaftigkeit, Innovationen

Betontechnik: Aktuelle Trends und Entwicklungen

Christoph Müller, Düsseldorf

1 Einleitung

Der jährliche weltweite Verbrauch von Beton wird aktuell auf etwa 5 Mrd. m³ geschätzt. Legt man die Prognosen der Internationalen Energieagentur für den weltweiten Zementverbrauch im Jahr 2050 zugrunde, so könnte dieser Wert auf rd. 10 Mrd. m³ bis 12 Mrd. m³ ansteigen. Diese Zahlen belegen die Bedeutung des Baustoffs Beton für die globale gesellschaftliche Entwicklung. Die prognostizierten Mengen stellen sowohl mit Blick auf den globalen Klimaschutz und die effiziente Nutzung natürlicher Ressourcen als auch auf die technische Qualität des Baustoffs und daraus erstellter Bauwerke eine enorme Herausforderung dar. Vor diesem Hintergrund ist Innovationskraft ebenso gefragt wie die Konzentration auf die Stärken der Bauweise.

2 Aktuelle Themen

Wie alle gesellschaftlichen Bereiche stellt sich auch die Betonbauweise der Nachhaltigkeitsdiskussion. Hierbei ist es mittlerweile kaum mehr notwendig darauf hinzuweisen, dass die alleinige Fokussierung auf ökologische Gesichtspunkte nicht ausreicht. In den europäischen Regelwerken wie auch den nationalen Bewertungssystemen ist die Ökologie eine von mindestens drei Säulen bzw. Bewertungsbereichen. Die Erkenntnis, dass die Umweltwirkungen der Zement- und Betonherstellung an der Ökobilanz der Errichtung eines typischen Bürogebäudes mit einer Tragkonstruktion aus Stahlbeton rd. 40 % ausmacht, erscheint Grund genug, diese Werte weiterhin verbessern zu wollen. Bei Ingenieurbauwerken aus Stahl- oder Spannbeton dürfte der Anteil größer sein. Für diese Bauwerke gibt es derzeit aber kein Bewertungssystem. Gleichzeitig darf der Einfluss der Zement- bzw. Betonherstellung auf die Nachhaltigkeitsbewertung eines solchen Gebäudes über den gesamten Lebenszyklus aber nicht überschätzt werden (Bild 1).

Innerhalb der Herstellungsphase des Bauwerks beträgt der Einfluss im Beispielgebäude 40 %. Bezieht man nötige Instandsetzungszyklen über die Lebensdauer bzw. das End-of-life (EOL) des Bauwerks mit ein, wird der Einfluss geringer (rd. 30 %), da die Lebensdauer zementgebundener Baustoffe mindestens dem Betrachtungszeitraum (50 Jahre) entspricht und praktisch keine Erneuerungen oder Reparaturen anfallen. Für viele andere Bauprodukte müssen in diesem Zeitraum z.T. mehrere Instandsetzungszyklen miteinbezogen werden.

Betrachtet man den Anteil des Energiebedarfs, der für die Bereitstellung der Baustoffe und Bauprodukte nötig ist, im Vergleich

zum nötigen Energiebedarf über die Nutzungsdauer des Bauwerks, so beträgt der Anteil der Baustoffe derzeit ca. 15 %. Laut aktueller Schätzungen könnte dieser Anteil bis 2020 in Deutschland durch die Fortschreibung der Energieeinsparverordnung vermutlich bis auf rd. 40 % steigen [1]. Es wurde angenommen, dass für andere Indikatoren wie das Treibhauspotenzial der Anteil der Umweltlasten aus Herstellung und Instandhaltung an der Gesamtökobilanz des Gebäudes ähnlich hoch ist.

Der Anteil der Parameter im Teil „Ökologische Bewertung“ der Gebäudenachhaltigkeitsbewertung, der sich durch die Ökobilanzindikatoren aus der EPD darstellen lässt, beträgt rd. 60 %, da auch andere Faktoren wie z.B. die Flächeninanspruchnahme Berücksichtigung finden. An der Gesamtnachhaltigkeitsbewertung hat die ökologische Bewertung im DGNB-System einen Anteil von

Zement nicht betreffen. Technische Kriterien wie Brandschutz oder Schallschutz werden im DGNB-System z.T. höher bewertet als Indikatoren aus der Ökobilanzierung wie z.B. das Treibhauspotenzial [2].

Vor dem Hintergrund der umweltpolitischen und wirtschaftlichen Randbedingungen bei gleichzeitig wachsenden technischen Herausforderungen zur Errichtung anspruchsvoller Ingenieurbauwerke sind moderne Betone komplexe Systeme verschiedener Betonausgangsstoffe, die sich in unterschiedlichsten Umgebungsbedingungen bewähren müssen. Die Vielfalt möglicher Betonausgangsstoffe nimmt nicht zuletzt durch die europäischen Normungsprozesse zu. Das Risiko von Fehlanwendungen gilt es durch praxistaugliche Verfahren und Regelungen zu begrenzen und damit die Robustheit im Bauprozess unter Nutzung qualifizierter Bauverfahren sicherzustellen. Begreift man Langle-

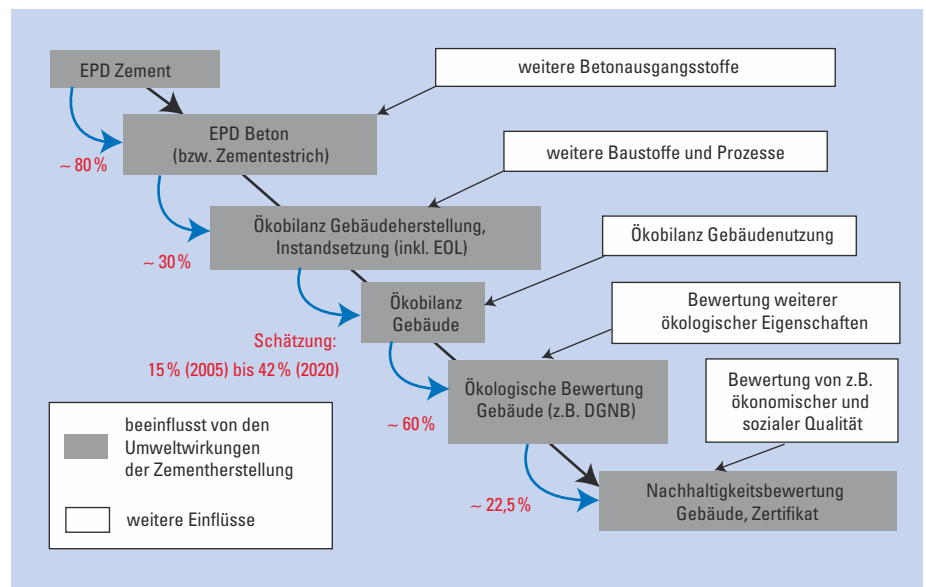


Bild 1: Auswirkung der Produkt-EPD für Zement auf eine Gebäudebewertung [2]

22,5 %. Werden die dargestellten Werte zusammen betrachtet, ergibt sich, dass die Umweltwirkungen der Zementherstellung einen Einfluss von rd. 20 % auf die Umweltlasten der Herstellung der Bauprodukte, der Errichtung des Bauwerks und der Instandhaltung des Bauwerks haben. An der zertifizierten Bewertung des gesamten Gebäudes über den Lebenszyklus und unter Berücksichtigung aller anderen Aspekte der Nachhaltigkeit beträgt der Anteil 0,5 % bis 1,3 %, da viele dieser Aspekte die Herstellung des Baustoffs

bigkeit, also Dauerhaftigkeit, als eine Grundanforderung an nachhaltige Bauwerke, so kann die Betonbauweise auch in der Zukunft ihre Stärke dann voll ausspielen, wenn das Regelwerk und das Handeln aller am Bau beteiligten auf diese Zielgröße ausgerichtet wird [3]. Dies gilt insbesondere für die Ingenieurbauwerke, bei denen der Beton i.d.R. schärferen Umgebungsbedingungen ausgesetzt ist, als im üblichen Hochbau. Gerade im Hochbau dürfte dafür die Verlängerung der Nutzungsdauer bestehender Tragkonstrukt-

Tafel 1: Vorschlag einer CEN-Arbeitsgruppe für Carbonatisierungs- und Chlorid-Widerstandsklassen [4]

Preliminary values	Carbonation resistance class RC				Chloride resistance class RSD		
	RC20	RC30	RC40	RCX0 ¹	RSD45	RSD60	RSD75
Definition of class, depth of front after 50 years (mm)	20	30	40	–	45	60	75
Classification standard	EN xxx	EN xxx	EN xxx	EN xxx	EN yyy	EN yyy	EN yyy
Deemed to satisfy	Maximum water-cement-ratio (w/c)						
CEM I	0,45	0,50	0,55	0,90	NA	NA	0,45 ²
CEM II-A	0,45	0,50	0,55	0,90	0,40	0,50	0,60
CEM II-B	NA	0,45	0,50	0,75	0,40	0,50	0,60
CEM III-A	NA	0,45	0,50	0,75	?	?	?
CEM III-B	NA	NA	0,45	0,65	0,38	0,45	0,55
Minimum cement content (kg/m ³)	280	280	280	280	280	280	280

¹ Class RCX0 shall only be allowed in exposure class X0

² CEM I shall only be used with minimum 4 % silica fume

NA means that no deemed to satisfy values are given for that combination of cement and resistance class

onen durch entsprechende Umnutzung, d.h. das Bauen im Bestand, auch unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten an Bedeutung gewinnen.

3 Zukünftige Entwicklungen

Dem Dauerhaftigkeitskonzept von Betonbauwerken, bestehend aus deskriptiven Anforderungen an die Betonzusammensetzung, Anforderungen an die Betondeckung sowie die Nachbehandlung, liegt eine Zuordnung der Umgebungsbedingungen in Form der Expositionsklassen zugrunde, die in EN 206 bzw. den nationalen Anwendungsregeln definiert werden. Die Anforderungen an den Beton werden national festgelegt. Sie basieren auf den Praxiserfahrungen der Länder, in denen die Betone bei jeweiliger Betonzusammensetzung, Betondeckung und Nachbehandlung sowie unter den entsprechenden klimatischen Bedingungen, der Bautradition und dem Sicherheitsbedürfnis erfolgreich eingesetzt wurden. Die unter Beachtung der deskriptiven Regeln hergestellten Betone weisen in Labor-Performance-Prüfungen und in Lebensdauerberechnungen eine relativ große Bandbreite dauerhaftigkeitsrelevanter Eigenschaften auf. Daher wird aktuell die Frage diskutiert, ob zukünftig Betone stärker über diese Art der Leistungsbeschreibung definiert werden sollten. Eine gemeinsame Arbeitsgruppe des CEN/TC 250/SC 2 und des CEN/TC 104/SC 1 arbeitet an der Aufgabe, Dauerhaftigkeitsklassen für Betone zu definieren [4]. Bezüglich der carbonatisierungs- und chloridinduzierten Bewehrungskorrosion werden drei Widerstandsklassen vorgeschlagen, die mit einer Carbonatisierungsfrost bzw. mit einer Chlorideindringfront nach 50 Jahren verknüpft sind (Tafel 1).

Nach den derzeitigen Vorschlägen könnte der Beton für die Carbonatisierungs-Widerstandsklasse RC40 (maximale Carbonatisierungstiefe 40 mm) z.B. mit folgenden Betonzusammensetzungen hergestellt werden: Portlandzement CEM I und maximaler Was-

serzementwert max w/z 0,55; CEM III/A und max w/z 0,50. Beiden Optionen gemeinsam ist die Tatsache, dass die maximalen Wasserzementwerte geringer wären als heute in DIN 1045-2 vorgesehen (Expositionsklassen XC3/4: max w/z = 0,65/0,60). Derzeit bestehen damit Unterschiede zwischen Berechnungsergebnissen und langjährigen Praxiserfahrungen und würden entweder eine Verschärfung der Berechnungsgrundlagen notwendig machen oder Änderungen der deskriptiven Regelungen nach sich ziehen [5].

Der Vorteil eines solchen Systems wäre darin zu sehen, dass die Betone und ihre Ausgangsstoffe noch stärker entsprechend ihrer Leistungsfähigkeit eingesetzt werden könnten. Eine Voraussetzung hierfür wäre ein erweitertes System der Qualitätssicherung entlang der gesamten Wertschöpfungskette, denn die Wahlmöglichkeiten und damit naturgemäß auch die potenziellen Fehlerquellen würden zunehmen.

Labor-Performance-Prüfverfahren können heute auch dort bereits eingesetzt werden, wo die Leistungsfähigkeit von Betonen für besondere Anwendungen/Umgebungsbedingungen zu überprüfen ist. Ein Beispiel hierfür sind z.B. Prüfungen zur Vermeidung einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion nach dem Allgemeinen Rundschreiben ARS 04/2013 [6]. Die Festlegung der Bewertungskriterien muss dabei unabhängig vom verwendeten Prüfverfahren sowohl die ziel-sichere Vermeidung von AKR-Schäden als auch den Erhalt der

Wettbewerbsfähigkeit der Betonbauweise sicherstellen.

Um dem letztgenannten Aspekt zu genügen, müssen nicht nur die Fälle erfasst und zukünftig ausgeschlossen werden, die nachweislich zum Schaden geführt haben. Es muss auch weiterhin möglich sein, mit solchen Betonen zu bauen, die sich in der Praxis nachweislich bewährt haben. Hierzu müssen kontinuierlich Untersuchungen an Praxisobjekten durchgeführt und mit den Laborversuchen verglichen werden [7].

Der Ideenreichtum und die Innovationskraft der Betonbauweise der letzten Jahre lässt sich z.B. an Entwicklungen wie

- dem Selbstverdichtenden Beton,
- hochfesten und ultrahochfesten Betonen,
- Textilbeton

oder auch dem neuen DFG-Schwerpunkt „Leicht Bauen mit Beton“ ablesen.

Bei genauerem Hinsehen stellt man fest, dass diese Entwicklungen bisher nur in relativ wenigen Fällen eine Umsetzung in der Baupraxis erfahren haben. Ein Grund neben anderen kann wohl in der Tatsache vermutet werden, dass das Wissen um die Möglichkeiten der Bauweisen noch nicht weit genug verbreitet werden konnte. Es bedarf somit auch zukünftig verstärkter Anstrengungen im Hinblick auf die Wissensvermittlung, die Weiterbildung und Qualifikation aller am Bau Beteiligten, beginnend bei den Planern bis zur Bauausführung.

Diesem Ziel folgend arbeitet der VDZ seit 03/2011 zusammen mit Partnern aus der Baustoffe-Steine-Erden-Industrie sowie der Wissenschaft in dem BMBF-Verbundprojekt „Wissensnetzwerk Zement – Kalk – Beton“ (FKZ 01PF08024) an einer Plattform für die branchenübergreifende Kommunikation und Information. Hierin werden die zwischen 01/2008 und 12/2009 im Projekt „Berufliche Bildung für nachhaltige Entwicklung in der Zementindustrie“ (FKZ 01PF07012) gewonnenen Erkenntnisse aufgegriffen und in anderen Bereichen der Industrie erprobt. Die Plattform soll bis Ende 02/2014 prototypisch fertiggestellt werden (<http://www.wissensnetzwerk-steine-erden.de>). Der Aufbau der Plattform sieht vor, dass die vier An-



Bild 2: Startseite der Online-Plattform „Wissensnetzwerk Zement – Kalk – Beton“

wendungsszenarien Informieren, Nachschlagen, Lernen und Netzwerken abgedeckt werden (Bild 2). Neben der Zementindustrie werden weitere Bereiche der Baustoffe-Steine-Erden-Industrie eingebunden und schlussendlich werden alle Partner der Wertschöpfungskette das System später nutzen und davon profitieren können.

Literatur

- [1] Angabe des Ingenieurbüros Drees und Sommer AG, 2010
- [2] Reiners, J.: Nachhaltigkeit – Von der Idee zur praktischen Umsetzung, Vortrag VDZ Fachtagung Biontech, Düsseldorf 2011
- [3] Müller, Ch.: Aktuelle Regelwerke für Beton: Dauerhaftigkeit im Blickpunkt. beton 62 (2012) H. 3, S. 68–75
- [4] Exposure Resistance Classes, a new system to specify durability in EN 206 and EN 1992 – JWG CEN/TC250/TC104 N19E (Steinar Leivestad, 2013-03-20)
- [5] Müller, Ch.: Durability Requirements for Concrete Today and in the Future. 7th International VDZ Con-

gress "Process Technology of Cement Manufacturing", Düsseldorf 2013

- [6] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 04/2013 „Vermeidung von Schäden an Fahrbahndecken aus Beton in Folge von Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR)“
- [7] Müller, Ch.; Borchers, I.; Eickschen, E.: Erfahrungen mit AKR-Prüfverfahren: Hinweise zur Ableitung praxiserweiterter Bewertungskriterien für Performance- und WS- Grundprüfungen. beton 62 (2012) H. 10, S. 397-404

Anwendungsregeln für Betonzusatzstoffe, Konformitätsnachweise, Dauerhaftigkeit

Änderungen in den Neuausgaben von EN 206 und DIN 1045-2

Rolf Breitenbücher, Bochum

Im Zuge der alle fünf Jahre erforderlichen Überprüfung von europäischen Normen hinsichtlich Revision, Beibehaltung oder Zurückziehung hat das zuständige CEN/TC 104 im Jahr 2010 entschieden, die zehn Jahre zuvor erschienene erste europäische Betonnorm EN 206-1 zu überarbeiten. Dadurch sollten zwischenzeitlich gemachte Erfahrungen und weitere Neuerungen in dieses Regelwerk eingepflegt werden. Bereits im Vorfeld haben sich die nachfolgenden Themen als für die Überarbeitung maßgeblich herauskristallisiert:

- Anwendungsregeln für Betonzusatzstoffe
- Konformitätsnachweise
- Dauerhaftigkeit

Nach der Überarbeitung in mehreren Arbeitsgruppen des CEN/TC 104/SC1 und bereits erfolgter Einspruchsphase (Enquiry) findet derzeit die Schlussabstimmung (Formal Vote) der EN 206 statt. Parallel dazu wird momentan die nationale Ergänzungsnorm DIN 1045-2 angepasst.

Betonzusatzstoffe werden hinsichtlich ihres Beitrags zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit bislang über einen k -Wert als Zementäquivalent in der Betonzusammensetzung berücksichtigt. In der Neuausgabe von EN 206 sind als weitere Alternativen das sogenannte Performance-Konzept (Konzept der gleichwertigen Betonleistungsfähigkeit, ECPC) und das sogenannte Kombinations-Konzept (Konzept der gleichwertigen

Leistungsfähigkeit von Kombinationen aus Zement und Zusatzstoff, EPCC) enthalten. Ersteres erlaubt unter definierten Randbedingungen Abweichungen von den normativ festgelegten Anforderungen an den maximal zulässigen Wasserzementwert und den Mindestzementgehalt. Hierzu muss für die genau definierte und dokumentierte Kombination aus einem Zusatzstoff (Typ II) mit einem Zement die Gleichwertigkeit in den dauerhaftigkeitsrelevanten Eigenschaften gegenüber einem Referenzbeton nachgewiesen werden, in denen von den Normvorgaben abgewichen werden soll. Der Referenzbeton muss dabei den Normvorgaben – in Deutschland den in DIN 1045-2 festgeschriebenen $\max w/z$ und $\min z$ – entsprechen. Beim Kombinationskonzept ist die äquivalente Leistungsfähigkeit einer Kombination aus einem Zement und einem Zusatzstoff gegenüber einem Normzement gleicher nominaler Zusammensetzung zu belegen. Bei gleicher Leistungsfähigkeit darf dann die Kombination entsprechend den Regeln des Vergleichszements angewendet werden, d.h. die Kombination kann dann voll auf w/z -Wert und Zementgehalt angerechnet werden.

Beispiel: $240 \text{ kg/m}^3 \text{ CEM I} + 60 \text{ kg/m}^3 \text{ Flugasche}$ entsprechen $300 \text{ kg/m}^3 \text{ CEM II/A-V}$.

Zum Vergleich: Mit dem k -Wert Konzept sind nur $240 + 0,4 \times 60 = 264 \text{ kg/m}^3$ als äquivalenter Zementgehalt anrechenbar.

Beide alternativen Konzepte werden in Deutschland zunächst nur mit einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung angewendet werden können.

Nachdem zwischenzeitlich Hüttensandmehl als Betonzusatzstoff in EN 15167 genormt ist, wird für diesen in EN 206 auch ein k -Wert von 0,6 empfohlen. In DIN 1045-2 ist eine Modifikation dieser Empfehlung dahingehend vorgesehen, dass für Hüttensandmehl sinngemäß dieselben Regeln wie für Flugasche herangezogen werden können, d.h. es darf ein k -Wert von 0,4 angesetzt werden. Für darüber hinausgehende Anrechnungen bedarf es weiterer Nachweise, wie z.B. einer bauaufsichtlichen Zulassung.

Für den Konformitätsnachweis bei steifer Herstellung ist in der neuen EN 206 ebenfalls ein alternatives Nachweissystem aufgenommen worden (Methode C), bei dem über sogenannte „Kontrollkarten“ eine kontinuierlichere Überwachung ermöglicht wird. Während bei der bisher praktizierten Auswertung (Methode B) jeweils bis zu 35 Einzelergebnisse als Gesamtpaket statistisch ausgewertet werden ($f_{c,m} \geq f_{ck} + 1,48 \sigma$), erfolgt bei dem Kontrollkartensystem auf Basis des Kusum-Verfahrens oder des Shewart-Verfahrens der Nachweis fortlaufend mit jedem neu hinzugekommenen Einzelergebnis (Bild 1). Dazu sind Warn- und Sicherheitslinien zu definieren, wobei Letztere das gleiche Sicherheitsniveau wie der Nachweis bei Methode B aufweisen muss. Nähern sich die Ergebnisse der Warnlinie in der kontinuierlich mitgeführten „V-Maske“ an, sind Korrekturen angeraten. Das Einzelwertkriterium ($f_{c,i} \geq f_{ck} - 4 \text{ N/mm}^2$) ist darüber hinaus bei Methode C ebenso wie bei Methode B einzuhalten. Methode C ist nur in Verbindung mit einer fremdüberwachenden Stelle anwendbar.

Des Weiteren wird zukünftig die Konformität von Frischbetoneigenschaften, die bei der Betonlieferung unmittelbar überprüft werden können (Konsistenz, Luftgehalt), einzig anhand von Einzelwerten beurteilt. Die bislang mögliche Unter-/Überschreitung von Grenzwerten entsprechend definierter Annahmezahlen entfällt für diese Eigenschaften.

Die Besonderheiten für selbstverdichtende Betone waren bislang in EN 206-9 und der DAfStb-„Richtlinie für selbstverdichtende Betone“ geregelt. Diese werden nun direkt in die EN 206 und DIN 1045-2 integriert. Des Weiteren wurde die bisherige Differenzierung von hochfesten Betonen ab der Festigkeitsklasse C55/67 aufgehoben. Ferner soll es zukünftig nur eine einzige EN 206 geben, sodass eine Unterteilung entfällt.

Für Bauteile des Spezialtiefbaus (Bohrpfähle, Schlitzwände usw.) wurden entsprechende Regelungen in Anhang D der neuen EN 206 aufgenommen

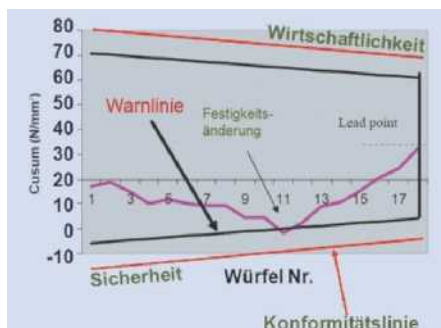


Bild 1: Auswertung von Druckfestigkeitsergebnissen mit dem Kusum-Verfahren