

Bemessungsrelevante Kennwerte zukünftiger Betone und deren Abbildung in Regelwerken

Frank Dehn

Zusammenfassung

Nicht zuletzt infolge eines gesellschaftlich und politisch motivierten Umdenkens unterliegt der Betonbau gegenwärtig einem von Nachhaltigkeit und effizienterem Ressourceneinsatz geleiteten Wandel, infolgedessen die Verwendung alternativer Ausgangsstoffe und -kombinationen zusehends an Bedeutung gewinnt, jedoch die klassischen betontechnologischen, auf deskriptiven Vorgaben basierenden Grundsätze an ihre Grenzen stoßen. Es ist daher nur konsequent, dass für die Anwendung zukünftiger Betone neue Ansätze entwickelt werden, die bewusst die für einen spezifischen Anwendungsfall benötigten und die darauf abgestellten Leistungsmerkmale der Betone in den Vordergrund stellen. Die Herausforderung bei einem solchen leistungsbezogenen Konzept (*performance-based concept*) besteht zum einen in der Kopplung der in der Praxis vorherrschenden komplexen Einwirkungsszenarien mit der Vielzahl an bereits heute, vor allem aber zukünftig zur Verfügung stehenden stofflichen Varianten, zum anderen aber insbesondere in den bislang nur bedingt vorhandenen Prüfverfahren, die eine statistisch abgesicherte Prognose des Betonverhaltens ermöglichen sollen. Dies trifft vorrangig für die Dauerhaftigkeitseigenschaften, aber auch auf die bemessungsrelevanten Kennwerte zukünftiger Betone zu. Der nachfolgende Beitrag gibt einen Überblick zum Stand der Umsetzung leistungsbezogener Bewertungskonzepte für bemessungsrelevante - vorwiegend mechanische - Kennwerte in pränormativen Regelwerken und Normen des Betonbaus sowie einen Vorschlag für zukünftige, gegenwärtig nicht den einschlägigen Normen genügende Betone.

1 Einleitung

Neuere Entwicklungen im Bereich der alternativen Bindemittel, Betonzusatzstoffe und -mittel fördern zwar den zunehmenden Einsatz moderner Betone in der Praxis, jedoch werden diese zumindest aktuell nur eingeschränkt von den gültigen Normen erfasst, geschweige denn geregelt. Vielmehr werden diese oftmals einzelfallbezogen bzw. projektspezifisch entwickelt, bewertet und dann deren Einsatz genehmigt.

Die üblichen mit den Expositionsclassen einhergehenden deskriptiven Vorgaben für die Betonausgangsstoffe, die Mindestdruckfestigkeitsklassen, die höchstzulässigen Wasserzement-Werte oder die Mindestzementgehalte sind auf solche modernen Betone oftmals nicht anwendbar. Der deskriptive Ansatz der Betonkonzeption geht dabei (teils fälschlicherweise) von der Annahme aus, dass Betone nahezu gleicher Zusammensetzung eine annähernd vergleichbare Leistungsfähigkeit aufweisen; sowohl bzgl. der bemessungsrelevanten (mechanischen) Kennwerte, als auch hinsichtlich der erzielbaren Dauerhaftigkeitseigenschaften.

Jedoch kann mit diesem Ansatz der kombinierte Einfluss der Betonausgangstoffwahl, der Bauweise und der vorherrschenden Umgebungsbedingungen nicht angemessen berücksichtigt werden.

Dagegen stützen sich leistungsbezogene Spezifikationen (*performance-based specifications*) auf bestimmte Leistungsmerkmale bzw. -kriterien ab, die spezifisch für bestimmte Anwendungsfälle definiert werden. Demnach werden bei leistungsbezogenen Ansätzen vielmehr zu erreichende Frisch- und Festbetoneigenschaften festgelegt und weniger eine bestimmte Betonzusammensetzung vorausgesetzt. Somit schließen leistungsbezogene Spezifikationen üblicherweise das Abprüfen betreffender Betoneigenschaften sowie die Beurteilung der Prüfergebnisse anhand von vereinbarten Konformitätsanforderungen explizit mit ein.

Aufgrund der Fortschritte bei der Entwicklung von kombinierte Einwirkungen berücksichtigende methodische Prüfkonzepte und -verfahren wird die leistungsbezogene „Bemessung“ des Betons und der Betonbauwerke ermöglicht und verstärkt in der Praxis angewendet.

Dieser Ansatz bedingt ein Umdenken gegenüber der bislang etablierten Nachweisführung, bei der die Betonzusammensetzung im Vordergrund steht. Die Chancen und Risiken der leistungsbezogenen Spezifikationen gegenüber dem deskriptiven Vorgehen gilt es abzuwägen.

Der meist verbreitete leistungsbezogene bemessungsrelevante Kennwert ist die Betondruckfestigkeit f_c , auf die wiederum andere, teils empirische (z.B. f_{ct} , E_c usw.), teils physikalisch korrekte Bemessungskennwerte zurückgeführt werden. Jedoch ist für eine Reihe von Fällen, die ausschließliche Berücksichtigung von f_c als „Leistungsindikator“ für einen bestimmten Beton oder für eine Reihe in der Zusammensetzung vergleichbarer Betone nicht ausreichend, zumal die Beziehung zwischen der Betondruckfestigkeit und anderen Betoneigenschaften je nach Zusammensetzung stark schwankt.

Neben der Betondruckfestigkeit sind auch andere bemessungsrelevante Eigenschaften von großer Bedeutung für die Praxis, so dass auch diese gerade bei zukünftigen, dem Anwendungsfall anpassbaren Betonen (*tailormade concretes*) eingehend betrachtet werden müssen. Als Beispiele seien hier insbesondere das elastische und plastische (Langzeit-)Verformungsverhalten, die Frischbetoneigenschaften im Allgemeinen, die thermischen Eigenschaften während und nach der Erhärtung, die zeitliche Festigkeitsentwicklung, die Duktilität, der Widerstand gegen Rissbildung im jungen Beton usw. genannt.

2 Betonleistungsfähigkeit

2.1 Definition

In diesem Abschnitt wird versucht, eine allgemeingültige Definition für die Betonleistungsfähigkeit (*performance-based specifications*) herzuleiten, die sowohl für die Dauerhaftigkeitsbetrachtung als auch bei anderen relevanten Betonkennwerten angewendet werden kann, wie sie bspw. mit der Tragwerksbemessung in Zusammenhang stehen. Es wird vorgeschlagen, dass sich „... leistungsbezogene Betonspezifikationen auf die zuvor verbindlich festgelegten Betoneigenschaften und/oder die Eigenschaften des Betonbauwerks selbst abstützen, welche sich auf die benötigte Leistungsfähigkeit des einzelnen Betons und/oder Betonbauwerks beziehen und die eine Bewertung besonderer Eigenschaften mittels einer validierten Prüfung und/oder einer konstitutiven Modellierung einschließt. Der Ansatz der leistungsbezogenen Betonspezifikationen weicht insofern von den klassischen deskriptiven Vorgaben in den Normen ab, da diese die erzielbaren Eigenschaften des Betons mit dessen auf Erfahrung gründende Zusammensetzung verbinden“.

Mit dieser allgemeingültigen Formulierung soll deutlich werden, dass für zukünftige Betone, für die nur bedingt ausreichende Langzeiterfahrungen vorliegen können, eine Möglichkeit der Anwendung geschaffen werden kann, ohne dabei die hohen

Qualitäts- und Sicherheitsanforderungen in Frage zu stellen, wie man sie für genormte „Standardbetone“ erwartet.

2.2 Regelwerke mit leistungsbezogener Grundlage

In jüngerer Zeit wurden leistungsbezogene Bemessungsansätze ohne oder in Kombination mit geeigneten Prüfverfahren in erster Linie zur Bewertung der Betondauerhaftigkeit für die Expositionsklassen XC, XD und XS entwickelt (z.B. über sog. Widerstandsklassen (RC) zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit in EN 206, abgeleitet aus der Lebensdauerbemessung nach ISO 16204 oder in [1]) und bspw. in der Schweiz (gemäß SN EN 206 in Verbindung mit SIA 262) oder in Südafrika (über einen sog. Durability Index Approach (DIA)) [2] (vgl. RILEM TC 230-PSC (2016)) verbindlich in das jeweilige nationale Regelwerk implementiert. Bei diesen Regelungen handelt es sich meistens jedoch um die Erweiterung der üblichen deskriptiven Ansätze durch einen zusätzlichen leistungsbezogenen Bewertungszusatz. Regelwerke, die ausschließlich leistungsbezogene Betonspezifikationen berücksichtigen, sind vorrangig in Nordamerika (ACI in den USA und CSA in Kanada) eingeführt worden. Diese wären bspw.:

- American Concrete Institute (ACI) 329R-14 Report on performance-based requirements for concrete, 2015, ISBN 978-08-703-1974-7
- Canadian Standard Association (CSA) A23.1-09 und A23.2-09 Concrete materials and methods and concrete construction / methods of test and standard practices for concrete, 2014

Man muss jedoch einschränkend festhalten, dass die leistungsbezogene Betrachtung der Dauerhaftigkeitseigenschaften von Betonen weitaus komplexer ist, als bspw. jene für die Frischbetoneigenschaften bzw. die für die bemessungsrelevanten Kennwerte, die mit der Tragwerksbemessung im Zusammenhang stehen.

Insbesondere die Bewertung der leistungsbezogenen Dauerhaftigkeitseigenschaften steht und fällt mit der Bereitstellung allgemeingültiger, anerkannter und statisch abgesicherter, verifizierender Prüfverfahren und Modelle, mit denen experimentell und/oder numerisch nachgewiesen werden kann, dass der für den spezifischen Anwendungsfall erwartete Betonwiderstand erreicht wird [3, 4].

Wie bzgl. bemessungsrelevanter Kennwerte zukünftiger Betone und deren Abbildung in Regelwerken perspektivisch verfahren werden könnte, soll im folgenden Abschnitt 3 detaillierter beschrieben werden.

3 Wesentliche bemessungsrelevante Kennwerte zukünftiger Betone

Im Hinblick auf eine Einordnung und Vergleichbarkeit der Eigenschaften zukünftiger Betone gegenüber den normierten „Standardbetonen“ sollten wesentliche Referenzparameter (RP) ermittelt bzw. experimentell abgeprüft werden. Hierbei muss darauf geachtet werden, inwieweit die gängigen Prüfverfahren überhaupt auf die zukünftigen Betone angewendet werden können, um die charakteristischen, bemessungsrelevanten Eigenschaften verifizieren zu können, weichen diese doch ggf. hinsichtlich der zeit- und/oder temperaturabhängigen Reaktionskinetik alternativer Bindemittel im Wechselspiel mit Betonzusatzstoffen, -mitteln und Gesteinskörnungen deutlich von den einschlägig geregelten Standardbetonen ab [4]. Hinsichtlich der oben erwähnten Referenzparameter kann in diesem Zusammenhang bspw. auf DIN EN 1992-1-1 [5] oder auf das Kapitel 5.1 des *fib* Model Code 2010 [6] zurückgegriffen werden, in dem die zur Beschreibung eines Betons maßgebenden bemessungsrelevanten Kennwerte aufgeführt sind (Tabelle 1).

Tab. 1: Überblick maßgebender, bemessungsrelevanter Kennwerte zukünftiger Betone

Referenzparameter (RP)	Bemessungsrelevante Kennwerte
Mechanisches Verhalten	Dichte, Druckfestigkeit, Zugfestigkeit, Spaltzugfestigkeit, Biegezugfestigkeit, Bruchenergie, E-Modul, Querdehnzahl
Last-Verformungsverhalten (Kurzzeit)	Druck, Zug
Zeitabhängiges Verhalten (Kurzzeit, Langzeit)	Druckfestigkeit, Zugfestigkeit, E-Modul, Kriechen, Schwinden
Temperaturabhängiges Verhalten (Kurzzeit, Langzeit)	Last-Verformung, Temperaturendeckung, Druckfestigkeit, Zugfestigkeit, Bruchverhalten, E-Modul, Kriechen (einschließlich transientes Kriechen), Relaxation, Schwinden, Hoch- und Tieftemperaturverhalten, Zwang
Nicht-statisches Verhalten	Ermüdung (Festigkeit, Verformung), Effekte aus Spannungs- und Verformungsraten (Anprall, Explosion)

4 Mögliche Berücksichtigung leistungsbezogener Spezifikationen für zukünftige Betone

Die Berücksichtigung leistungsbezogener Spezifikation für bemessungsrelevante Kennwerte zukünftiger Betone setzt zunächst eine gewisse Systematik voraus, wie bspw. anhand geeigneter Prüfungen die gewonnenen Ergebnisse bewertet und in ein entsprechendes neues Materialmodell implementiert werden können. Gegebenenfalls sind aber auch Anpassungen oder Korrekturen an bereits vorhandenen Materialmodellen oder Prüfverfahren sinnvoll, die die charakteristischen Eigenschaften der zukünftigen Betone widerspiegeln, vorausgesetzt, dass die Materialmodelle und Prüfverfahren überhaupt geeignet sind, das spezifische Verhalten der zukünftigen Betone ausreichend abzubilden. In diesem Zusammenhang sind daher die folgenden Fragen zu stellen: 1. *Gibt es überhaupt ein geeignetes Prüfverfahren?* 2. *Kann man einen spezifischen Materialkennwert eines zukünftigen Betons anhand des geeigneten Prüfverfahrens bestimmen und bewerten?* und 3. *Kann man auf ein bereits anerkanntes Materialmodell zurückgreifen?* [4].

Dies könnte z.B. in einem ersten Schritt anhand von vordefinierten Klassen für die wesentlichsten Betonausgangsstoffe Gesteinskörnung (Abschnitt 4.1) und Bindemittel (Abschnitt 4.2) erfolgen, die dann zukünftig durch weitere gewonnene Daten verfeinert werden können, vorausgesetzt, es ist ein belastbarer Umfang an reproduzierten Daten bereits vorhanden. Da insbesondere die mechanischen, bemessungsrelevanten Eigenschaften von aus alternativen Bindemitteln hergestellten Betonen teils starken Streuungen unterliegen, ist zu vermuten, dass ggf. erforderliche Korrekturfaktoren zunächst konservativ anzusetzen sind.

Mittels der chemischen Zusammensetzung - insbesondere bzgl. der CaO -, SiO_2 - und Al_2O_3 -Gehalte - erscheint es jedoch möglich zu sein, die unterschiedlichen Betonkomponenten vergleichend miteinander zu korrelieren. Nachfolgend wird hierzu eine mögliche Verfahrensweise vorgeschlagen.

4.1 Klassifizierung der Gesteinskörnung

Die folgende Abbildung 1 zeigt eine auf Basis einer Literatursichtung ermittelte exemplarische Zusammenstellung der chemischen Zusammensetzung unterschiedlicher Gesteinskörnungen. Naturgemäß unterliegt die chemische Zusammensetzung natürlicher Gesteine einer großen Varianz, jedoch können diese in zwei maßgebliche Gruppen (Gesteinskörnungsklassen, GK-Klasse) eingeteilt werden:

- *Silikatische* Gesteinskörnungen (GK-Klasse I)
- *Karbonatische* Gesteinskörnungen (GK-Klasse II)

Hinsichtlich zukünftiger Gesteinskörnungen, die durch deren chemische Zusammensetzung nicht in die oben aufgeführten GK-Klassen I und II eingeteilt werden können, ist die Einführung zusätzlicher Klassen möglich.

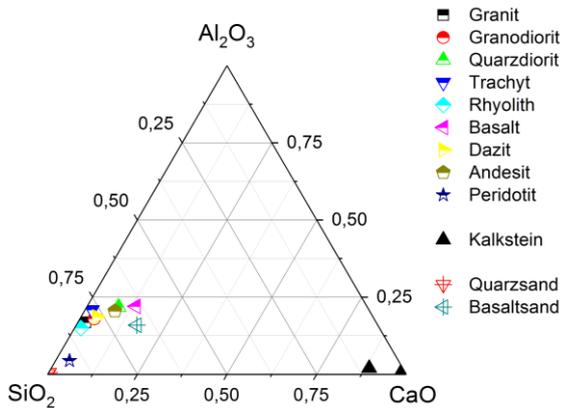


Abb. 1: Ternäres Phasendiagramm der chemischen Zusammensetzung verschiedener Gesteinskörnungen

Eine deutliche Anhäufung von entsprechenden Daten kann im silikatreichen Bereich des obigen ternären Phasendiagramms ausgemacht werden, was eine eindeutige Unterscheidung zwischen einzelnen Gesteinskörnungsarten schwierig macht. Eine zusätzliche Differenzierung kann bspw. über ein sog. TAS-Diagramm (Total-Alkali-Silika-Diagramm) erreicht werden (Abb. 2). Das TAS-Diagramm basiert auf der Unterscheidung des Alkaligehalts (Na_2O und K_2O) und des SiO_2 -Gehalts und ermöglicht eine zusätzliche Unterscheidung von Gesteinskörnungen in eine sog. alkalische und subalkalische Kategorie (Abb. 2).

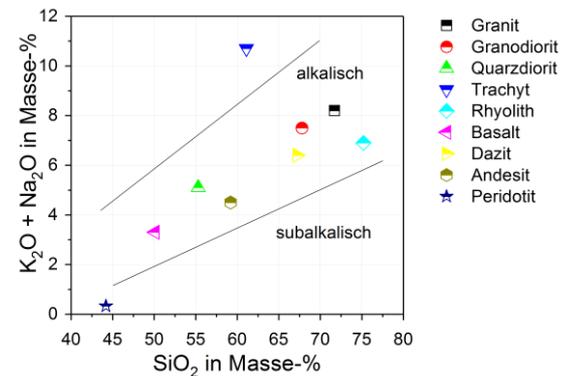


Abb. 2: Beispielhafte Darstellung der chemischen Zusammensetzung von Gesteinskörnungen mittels eines TAS-Diagramms

Eine solche Einteilung ist auch hinsichtlich der Bewertung des Verhaltens einer Gesteinskörnung in einer hochalkalischen Umgebung, z.B. in der Porenlösung zementärer oder alternativer Bindemittel (SCM, alkalisch-aktivierte Bindemittel oder Geopolymere) hilfreich [7] und sollte gerade im Hinblick auf die bemessungsrelevanten Kennwerte zukünftiger Betone beachtet werden.

4.2 Klassifizierung der Bindemittel

Für die Bindemittelklassifizierung kann die nachfolgende Abbildung 3 herangezogen werden [8]. Sie zeigt die chemische Zusammensetzung für eine Reihe von Zementen (CEM I bis CEM IV nach DIN EN 197-1), Zementersatzstoffen (SCM - Supplementary Cementitious Materials) und sonstige alternative Bindemittel. Zusätzlich sind zur Orientierung die inerten Gesteinsmehle aus Quarz und Kalkstein aufgeführt.

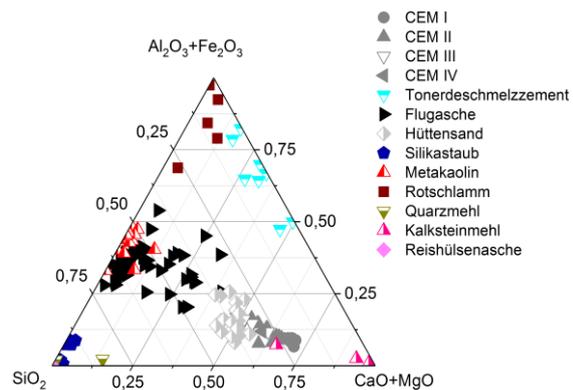


Abb. 3: Chemische Zusammensetzung verschiedener Bindemittel nach [8]

Vergleichbar wie bei der Herangehensweise für die Gesteinskörnung können auch für die unterschiedlichen Bindemittel entsprechende Klassen (Bindemittelklassen - BM-Klassen) definiert werden (Abb. 4).

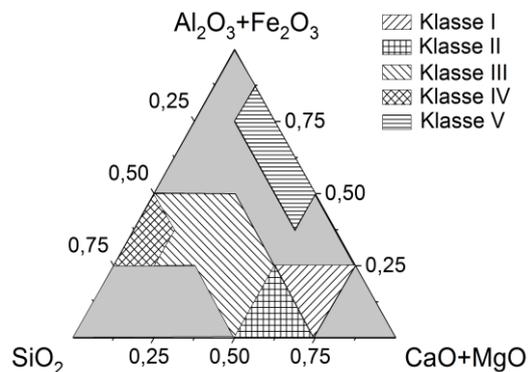


Abb. 4: Mögliche Klasseneinteilung für Bindemittel anhand der chemischen Zusammensetzung

Anhand der oben vorgeschlagenen Klasseneinteilung ergeben sich die folgenden BM-Klassen:

- *Portlandzemente* (BM-Klasse I)
- *Zementersatzstoffe* (SCM) (BM-Klasse II)
- *Ca-reiche Bindemittel* (z.B. alkalisch-aktivierte Bindemittel, AAB) (BM-Klasse III)
- *Ca-arme Bindemittel* (z.B. Geopolymere, GP) (BM-Klasse IV)
- *Al-reiche Bindemittel* (z.B. Tonerdeschmelzzemente) (BM-Klasse V)

In Tabelle 2 wird eine weitere Unterteilung der Bindemittel aufgrund der chemischen Zusammensetzung vorgenommen. Insgesamt kann die BM-Klasseneinteilung durch weitere zukünftige Bindemittel erweitert werden.

Tab. 2: Klassifizierung der Bindemittel bzgl. der chemischen Zusammensetzung (M.-%)

	BM-Klassen				
	I	II	III	IV	V
CaO + MgO	58,9 bis 75,4	47,4 bis 67,4	0,1 bis 55,5	0,1 bis 27,3	16,5 bis 49,4
Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	4,1 bis 13,0	7,8 bis 19,3	7,8 bis 53,9	23,5 bis 48,5	47,4 bis 82,4
SiO ₂	18,7 bis 27,9	23,7 bis 34,1	26,4 bis 66,7	36,8 bis 66,7	0,3 bis 7,9

Um insbesondere neue, alternative Bindemittel trotz der teils nicht vorhandenen Langzeiterfahrungen eine schnellere Anwendung in der Praxis zu ermöglichen, werden oft auf Basis eines sog. *semi*-leistungsbezogenen Nachweises auf internationaler Ebene Festlegungen getroffen. Hierbei steht vor allem die Vergleichbarkeit mit Bindemitteln und Betonen klassischer, deskriptiver Zusammensetzung im Vordergrund [9, 10, 11, 12, 13].

4.3 Kopplung der GK- und BM-Klassen mit Prüfverfahren und Materialmodellen

Mittels der in den Abschnitten 4.1 und 4.2 vorgestellten Klassifizierungen für Gesteinskörnungen und Bindemittel wird die Möglichkeit geschaffen, die bemessungsrelevanten Kennwerte zukünftiger Betone als Funktion der Zeit und Temperatur auf Basis von bereits existierenden Prüfverfahren und Materialmodellen grundsätzlich einzuordnen. Im Idealfall sind die Prüfverfahren und Materialmodelle auf die zukünftigen Betone übertragbar, so dass keine gesonderte Anpassung der Regelwerke erforderlich ist, sondern diese nur um eine bestimmte Gruppe zukünftiger Betone - entsprechend der stofflichen Zusammensetzung bspw. auf der Grundlage der vorgestellten GK- und BM-Klassen - ergänzt werden müssen (vgl. Tabelle 3a).

Zeigen jedoch an zukünftigen Betonen experimentell ermittelte Eigenschaften oder im Umgang mit dem Prüfverfahren Auffälligkeiten bzw. deutliche Abweichungen, so sind gesonderte Überlegungen anzustellen, bis hin zum Verwerfen des Prüfverfahrens bzw. der Entwicklung eines eigenen Materialmodells (vgl. Tabelle 3b).

Generell wird für zukünftige Betone erwartet, dass bzgl. der bemessungsrelevanten Kennwerte eher von sog. „Betonsystemen“ gesprochen werden muss, für die spezifische und nur bedingt verallgemeinerbare Materialmodelle abgeleitet werden können und sich somit deutlich von den normativ festgelegten Bemessungsansätzen, wie sie bspw. für Normal-, Leicht- und hochfesten Beton vorhanden sind, unterscheiden werden. Folgende zwei Beispiele sollen dies verdeutlichen.

Tab. 3a: Beispiel für die Kopplung der BM- und GK-Klassen anhand des Referenzparameters der mittleren Druckfestigkeit f_{cm}

RP	BM I	BM II	BM III	BM IV	BM V	GK I
f_{cm}	+	+	+	•	+	Q

mit: + Druckfestigkeitsklasseneinteilung nach DIN EN 206-1 und Prüfung nach DIN EN 12390-3 ist anwendbar für Betone unter Verwendung von Bindemitteln der Klassen BM I, II, III und V sowie einer Gesteinskörnung der Klasse GK I (Quarz).

- Druckfestigkeitsklasseneinteilung nach DIN EN 206-1 ist grundsätzlich anwendbar, jedoch Prüfung nach DIN EN 12390-3 ist nur bedingt anwendbar (Wasserlagerung ist zu vermeiden, bei Trockenlagerung ist ein Austrocknen der Prüfkörper zu vermeiden) für Betone unter Verwendung eines Bindemittels der Klasse BM IV sowie einer Gesteinskörnung der Klasse GK I (Quarz).

Tab. 3b: Beispiel für die Kopplung der BM- und GK-Klassen anhand des Referenzparameters der zeitlichen Entwicklung der mittleren Druckfestigkeit $f_{cm}(t)$

RP	BM I	BM II	BM III	BM IV	BM V	GK I
$f_{cm}(t)$	+	•	-	-	•	Q

mit: + Beiwert $\beta_{cc}(t)$ nach DIN EN 1992-1-1, Gleichung 3.1, ist anwendbar für Betone unter Verwendung eines Bindemittels der Klasse BM I sowie einer Gesteinskörnung der Klasse GK I (Quarz).

- Beiwert $\beta_{cc}(t)$ nach DIN EN 1992-1-1, Gleichung 3.1, ist grundsätzlich anwendbar für Betone unter Verwendung von Bindemitteln der Klassen BM II und V und einer Gesteinskörnung der Klasse GK I (Quarz). Eine Abschätzung der zeitlichen Entwicklung der Druckfestigkeit ist grundsätzlich möglich.

- Beiwert $\beta_{cc}(t)$ nach DIN EN 1992-1-1, Gleichung 3.1, ist nicht anwendbar für Betone unter Verwendung von Bindemitteln der Klassen BM III und IV sowie einer Gesteinskörnung der Klasse GKI (Quarz). Der Beiwert $\beta_{cc}(t)$ zur Berücksichtigung der Zementart, Lagerungstemperatur und -bedingungen überschätzt die zeitliche Druckfestigkeitsentwicklung in Abhängigkeit des Ca-Gehalts des Bindemittels teils deutlich und sollte gesondert experimentell ermittelt werden. Ein modifiziertes Materialmodell ist zu entwickeln.

Eine solche Kopplung ist letztendlich für alle in Tabelle 1 aufgeführten Referenzparameter (RP) bzw. alle bemessungsrelevanten Kennwerte möglich, setzt jedoch voraus, dass bestätigt werden konnte, dass das zugrundeliegende, jeweilige Prüfverfahren für die Kombination aus Bindemittel- und Gesteinskörnungsklasse und somit für die Verifizierung der charakteristischen Eigenschaften zukünftiger Betone grundsätzlich geeignet ist.

5 Zusammenfassung

Wie der Betonbau sich insgesamt stark im Umbruch befindet, so unterliegen auch die hierfür gültigen Regelwerke und Normen einem ständigen Anpassungs- und Fortschreibungsprozess. Im Rahmen dieses Beitrags sollte gezeigt werden, wie sich momentan für nichtgeregelte, aber für die Praxis bereits schon heute hochinteressante, zukünftige Betone insbesondere die bemessungsrelevanten Kennwerte ggf. bewertet und somit bedarfsgerecht anhand eines leistungsbezogenen Nachweiskonzepts angewendet werden könnten.

Mit den angeführten *Performance*-Ansätzen werden die Ziele verfolgt, Anregungen für alternative Bewertungs- und Bemessungskonzepte für zukünftige Betone zu geben sowie *einen* möglichen Weg aufzuzeigen, wie die Implementierung bislang nicht-geregelter Betone in die Normen ermöglicht werden könnte. Letztlich soll der Beitrag auch zur Erhöhung der Akzeptanz für neue, innovative betontechnologische Entwicklungen beitragen.

6 Literatur

- [1] DIN CEN/TR 16563:2014-04 bzw. DIN SPEC 18097:2014-04 Verfahrensgrundsätze zum Nachweis gleichwertiger Dauerhaftigkeit
- [2] Beushausen, H.-D., Fernandez Luco, L. (2016) Performance-based specifications and control of concrete durability, State-of-the-Art Report RILEM TC 230-PSC, Springer-Verlag, ISBN 978-9-401-77309-6

[3] Müller, C., Wiens, U. (2016) Betonbau im Wandel - Umsetzung von Performance-Konzepten, beton (1+2), Seite 10 - 17, Verlag Bau + Technik GmbH, Erkrath

[4] Dehn, F.; Herrmann, A. (2016) A performance-based approach for mechanical concrete properties - a roadmap towards constitutive coherences. In: Proceedings Beushausen, H.-D. (Ed.) "fib Symposium 2016: Performance-based approaches for Concrete structures - Cape Town / South Africa", pp. 83 - 90, ISBN 978-2-88394-120-5

[5] DIN EN 1992-1-1:2011-01 Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau

[6] fib Model Code for Concrete Structures 2010, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, ISBN: 978-3-433-03061-5

[7] Herrmann, A.; König, A.; Dehn, F. (2017) Structural concrete based on alkali-activated binders: Terminology, reaction mechanisms, mix designs and performance. In: Structural Concrete - fib Journal. DOI: 10.1002/suco.201700016

[8] Herrmann, A.; König, A.; Dehn, F. (2015) Proposal for the classification of alkali-activated binders and Geopolymer binders. In: Cement International, Vol. 13, Issue 3, pp. 62-69, Verlag Bau+Technik GmbH, Erkrath

[9] Ukraine Standard DSTU B V 2.7-181:2009: Cements, alkaline

[10] CSA-A3000-13: Cementitious materials compendium

[11] ASTM C 1157 M:2011: Standard performance specification for hydraulic cement

[12] ACI TG-10, 2016-10: Guide for alternative cementitious materials (ACM)

[13] CEN/TR 16912:2016-05: Guidelines for a procedure to support the European standardization of cements

Autor

Prof. Dr.-Ing. Frank Dehn

Institut für Massivbau und Baustofftechnologie
 Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
 Gotthard-Franz-Str. 3
 76131 Karlsruhe