

Überlegungen und Diskussionspunkte

Zusammensetzung und Prüfung von Beton – Anforderungen und Vorgehen in der Schweiz

Frank Jacobs, Wildegg (Schweiz)

In der schweizerischen Betonnorm SN EN 206 werden in Abhängigkeit von den üblichen Expositionsklassen nicht nur Anforderungen an die Betonzusammensetzung (maximaler Wasserzementwert, Mindestzementgehalt), sondern auch an das Ergebnis von Prüfungen der Dauerhaftigkeit gestellt. Auf der Grundlage zahlreicher Messungen und Ringversuche werden Grenzwerte für die Wasserleitfähigkeit WL, den Chloridwiderstand CW, den Karbonatisierungswiderstand KW und den Frost-Tausalz-Widerstand FT angegeben. Für weitere Dauerhaftigkeitseigenschaften, wie z.B. Alkali-Kieselsäure-Reaktion und Sulfatwiderstand, bestehen zusätzliche Festlegungen. In dem Beitrag werden der Weg zur Festlegung der Grenzwerte beschrieben wie auch einige Diskussionspunkte für die Fortschreibung der Regelwerke angesprochen.

Einleitung

Mit der Einführung der SN EN 206-1 [1] in der Schweiz auf den 1.1.2013 wurden die Regelungen zur Betonherstellung und dem Konformitätsnachweis genauer definiert. Dabei wurde der informative Anhang F der EN 206-1, der Vorgaben an die Betonzusammensetzung in Abhängigkeit von der Expositionsklasse enthält, in leicht modifizierter Form normativer Bestandteil der SN EN 206-1. Zusätzlich wurde der informative Anhang C der EN 206-1, der Regelungen für die Bewertung, die Überwachung und die Zertifizierung der Produktionskontrolle enthält, normativer Bestandteil der SN EN 206-1.

Zu dieser Zeit war bereits ein Umbruch im Zementmarkt erkennbar (Bild 1). Der seit hundert Jahren dominierende Portlandzement (CEM I) verlor große Marktanteile und

wurde anfänglich durch Portlandkalksteinzement CEM II/A-LL und ab 2010 auch durch CEM II/B-Zemente ersetzt. Verschiedene Untersuchungen zeigten bereits vor Inkrafttreten der SN EN 206-1 im Jahr 2003, dass es nicht immer sicher war, nur über Vorgaben an die Betonzusammensetzung die gewünschten Betoneigenschaften zielsicher zu erreichen. Deshalb wurde in der damaligen SN EN 206-1 gefordert, dass an separat hergestellten Probekörpern Prüfungen vom Betonwerk durchzuführen sind. Die Prüfungen mussten durchgeführt werden, jedoch wurden die Ergebnisse beim Konformitätsnachweis nicht berücksichtigt. Zeitgleich startete ein vom Bundesamt für Strassen (ASTRA) finanziertes Forschungsprojekt, das zum Ziel hatte zu überprüfen, ob es ausreichend ist, die Betonqualität nur über die Betonzusammen-

Der Autor:

Dipl.-Geol. Dr. sc. techn. Frank Jacobs studierte Geologie/Paläontologie an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen/Nürnberg. Von 1988 bis 1993 arbeitete er als Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand am Institut für Baustoffe, Werkstoffchemie und Korrosion der ETH Zürich, wo er 1994 promovierte. Heute ist Frank Jacobs als Technischer Berater an der TFB AG Technik und Forschung im Betonbau in Wildegg/Schweiz vor allem im Bereich Betontechnologie, Dauerhaftigkeit und Umwelteigenschaften von Zement und Beton tätig und ist auch in nationalen und internationalen Arbeitsausschüssen engagiert.

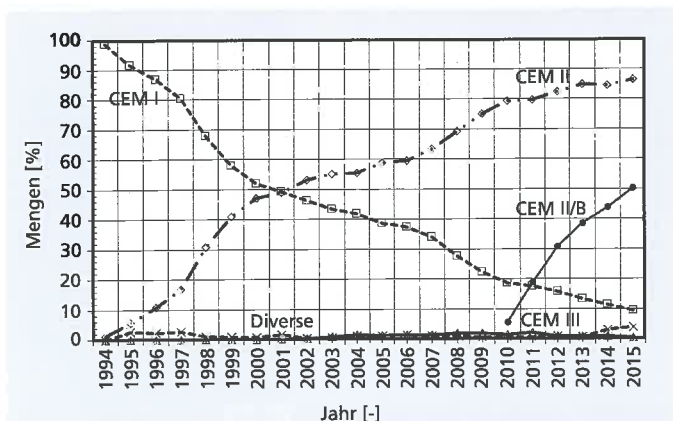


Bild 1: Marktanteile verschiedener Zementarten (Die Differenz zwischen CEM II- und CEM II/B-Zementen sind CEM II/A-Zemente); Angaben von www.cemsuisse.ch

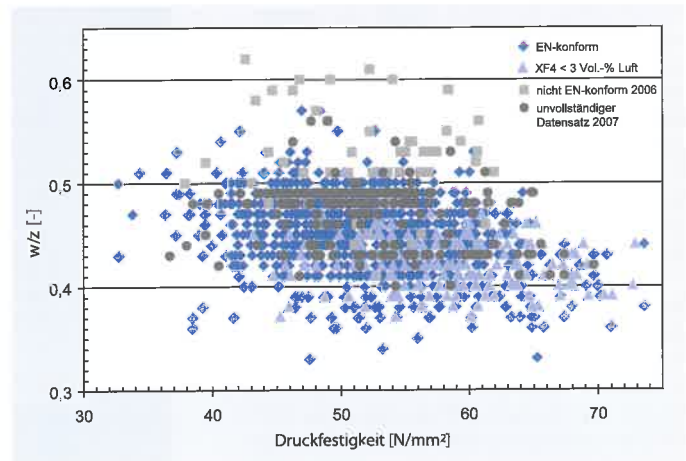


Bild 2: Einfluss des w/z-Werts auf die Druckfestigkeit [2]

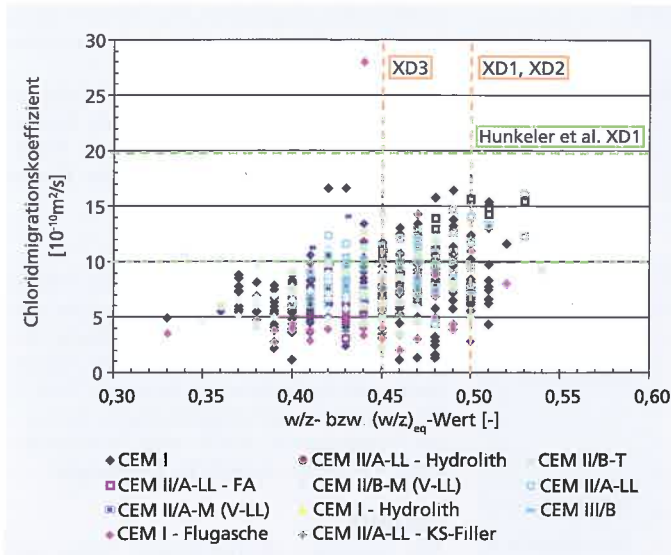


Bild 3: Einfluss des w/z-Werts auf den Chloridmigrationskoeffizienten [2]. Zusätzlich sind die maximal zulässigen w/z-Werte für verschiedene Expositionsklassen und die damaligen Grenzwerte eingetragen.

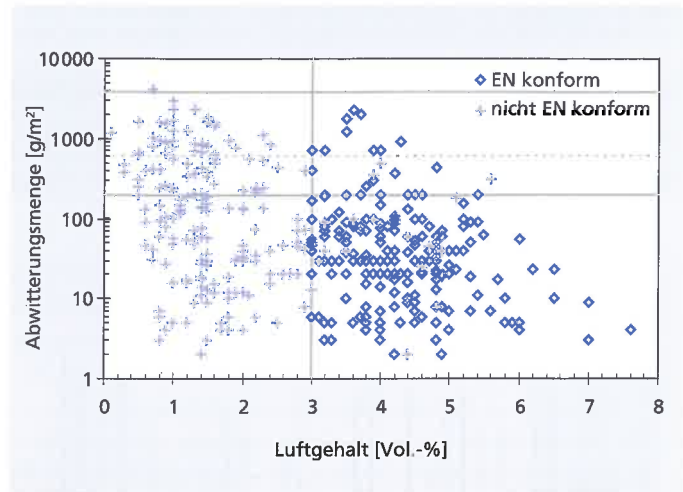


Bild 4: Abwitterungsmenge in Abhängigkeit vom Luftgehalt. (Die Linien stellen die Anforderungen der damaligen Norm SN EN 206-1 an den Luftgehalt und die Beurteilungswerte für die Abwitterungsmenge nach der damaligen Ausgabe der Norm SIA 262/1 dar. „Nicht EN-konform“ bedeutete damals entweder einen Luftgehalt unter 3 Vol.-% oder einen Zementgehalt unter 340 kg/m³ für ein Größtkorn von 32 mm.)

setzung zu definieren oder zusätzlich Festbetonprüfungen durchzuführen sind. Dafür wurden Daten von etwa 100 Transportbetonwerken und ungefähr 1500 Betonmischungen aus der ganzen Schweiz ausgewertet, die diese freiwillig zur Verfügung stellten [2].

Bei der Auswertung zeigte sich, dass über alle Betonwerke und Betonsorten hinweg kein Zusammenhang zwischen z.B. dem w/z-Wert und der Druckfestigkeit oder dem Chloridmigrationskoeffizienten (Kehrwert vom Chloridwiderstand) bestand (Bilder 2 und 3). Der Luftgehalt war die einzige Kenngröße der Betonzusammensetzung, die einen engeren Zusammenhang zu einer Beton-eigenschaft, nämlich dem Frost-Tausalz-Widerstand, aufwies (Bild 4): Beträgt der Luftgehalt im Frischbeton mehr als 3 Vol.-%, weist der Beton mit hoher Wahrscheinlichkeit (> 90 % bei 256 Betonmischungen) einen hohen Frost-Tausalz-Widerstand nach SIA 262/1 [3] auf. Jedoch wurde auch bei ca. 60 % der 203 geprüften und „nicht EN konformen“ Betonmischungen bei einem Luftgehalt

von unter 3 Vol.-% ein hoher Frost-Tausalz-Widerstand erreicht.

Basierend auf den Ergebnissen des Forschungsprojekts wurde beschlossen, ab dem 1.7.2008 im Nationalen Anhang zur SN EN 206-1 neben den Vorgaben an die Betonzusammensetzung auch Vorgaben an Dauerhaftigkeitsprüfungen zu machen. Als Grenzwerte wurden die bisher etablierten Werte verwendet sowie für einen mittlerer Frost-Tausalz-Widerstand (XF2, XF3) ein neuer Grenzwert von 1200 g/m² eingeführt (Tafel 1). Zur weiteren Information sind in der letzten Spalte der Tafel Hinweise zu den Prüfverfahren enthalten. Die Prüfungen waren mindestens 4 x jährlich an jeder Betonsorte vorzunehmen, wobei eine großzügige Bildung von Betonfamilien erlaubt ist. Dies erlaubt eine drastische Reduzierung der Anzahl an Dauerhaftigkeitsprüfungen. Haben Betonwerke eine Betonsorte während drei Jahren produziert und den Grenzwert immer eingehalten, durfte zudem die Prüfhäufigkeit halbiert werden. Bei diesen Prüfungen wurde auch das

Konzept mit Annahmezahlen und Grenzabweichungen eingeführt und auch in der aktuellen Ausgabe der SN EN 206 beibehalten (Tab. NA.14, Tab. 24), wobei die Grenzabweichung ca. 20 % (hängt von Prüfung ab) über den Grenzwerten festgelegt wurde.

In mehreren Ringversuchen wurde die Präzision der Dauerhaftigkeitsprüfungen bestimmt. Einige Angaben enthält die SIA 262/1 dazu. Dabei zeigte sich, dass bei Ergebnissen die bei ca. 50 % bis 100 % vom Grenzwert liegen, der Variationskoeffizient zwischen verschiedenen Laboren bei der Prüfung

- der Wasserleitfähigkeit ca. 10 % bis 15 %,
- des Chloridwiderstands ca. 25 %,
- des Frost-Tausalz-Widerstands ca. 20 % und
- des Karbonatisierungswiderstands ca. 15 %

beträgt. Das heißt, die Betonwerke müssen die Dauerhaftigkeitseigenschaften so anstreben, dass diese im Durchschnitt mindestens um den o.g. Variationskoeffizienten unterhalb des Grenzwerts liegen. Dies löste verschiedene Diskussionen aus, da es für die Betonhersteller einfacher ist, die Dosierung der Betonausgangsstoffe nachzuweisen als zuverlässig die Grenzwerte einzuhalten. Sollten einmal, wie zur Zeit im CEN TC 104 „Beton“ angedacht, „exposure resistance classes“ (Dauerhaftigkeitsklassen) eingeführt werden, sind diese Prüfgenauigkeiten bei der Festlegung der Klassen zu beachten.

Die bisherigen Erfahrungen zur Dauerhaftigkeit des Betons lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Durch Frost bzw. Frost und Tausalz bedingte Schäden treten kaum mehr auf, wobei eine starke Verbesserung bereits in den 1990er Jahren eintrat, als die Frost-Tausalz-Prüfung mit Grenzwerten in der SIA 162/1:1987 definiert wurde [5].

In Tafel 2 sind Ergebnisse einer Betonfamilie von Prüfungen während zwei Jahren dargestellt, die mehrere Betonsorten mit verschiedenen Größtkörnern und Zementar-

Tafel 1: Durchzuführende Prüfungen in Abhängigkeit von der Expositionsklasse gemäß SN EN 206-1, Ausgabe 2013

Expositionsklasse	Prüfung SIA 262/1	Grenzwert	Bemerkung
XC2, XC3, XC4 ^{*)} , XD1 ^{*)} , XD2a ^{*)}	Wasserleitfähigkeit WL	10 g/m ² h	kapillare Wasseraufnahme, ab 2016 nur zu prüfen, falls Nachweis der Wasserdichtheit zu erbringen ist
XD2b ^{**)} , XD3	Chloridwiderstand CW	10 · 10 ⁻¹² m ² /s	ähnlich zu Chlorideindringwiderstand gemäß Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
XC3, XC4	Karbonatisierungswiderstand KW	5,0 mm/a ^{0,5}	mit 4 % CO ₂ beschleunigtes Prüfverfahren, 50 Jahre Nutzungsdauer
XF2/XF3	Frost-Tausalz-Widerstand FT	1200 g/m ²	
XF4	Frost-Tausalz-Widerstand FT	200 g/m ² bzw. 600 g/m ²	ähnlich zum Plattenprüfverfahren in TS 12390-9 [4]

^{*)}für XC4, XD1, XD2a bis Ende 2012 durchzuführen

^{**)}Salzwasser mit Chloridgehalt > 0,5 g/l

Tafel 2: Ergebnisse von Konformitätsprüfungen der Betonsorte G (XC4, XD3, XF3) (eine Betonfamilie mit verschiedenen Betonsorten) während zwei Jahren [7]

Eigenschaft	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung	Maximalwert
Frost-Tausalz-Widerstand [g/m ²]	15	30	25	100
Chloridwiderstand [10 ⁻¹² m ² /s]	15	5,1	1,8	8,5

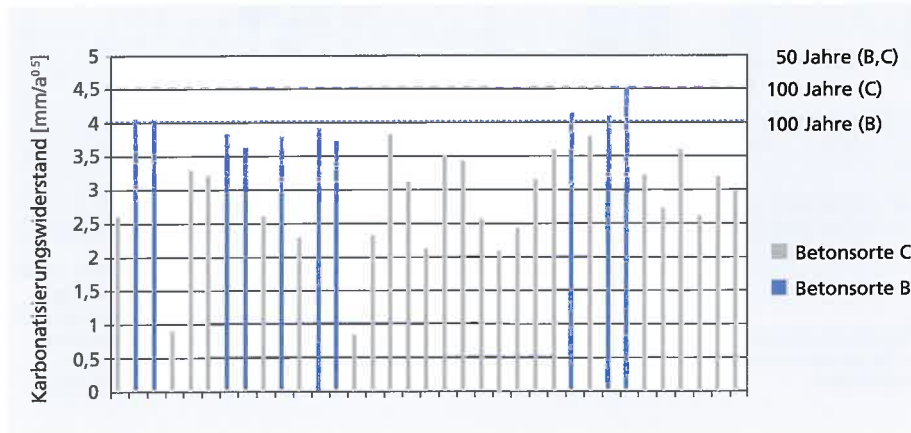


Bild 5: Ergebnisse der Prüfung des Karbonatisierungswiderstands bei zwei Betonsorten aus verschiedenen Betonwerken (Betonsorten siehe Tafel 3) [9]

ten umfasst, die alle der Betonsorte G (XC4, XD3, XF4) entsprechen. Der Grenzwert wurde immer eingehalten.

Chloridbedingte Stahlbetonschäden haben wahrscheinlich abgenommen, jedoch ist die Zeit seit der Einführung zu kurz, um dies zuverlässig belegen zu können. Es liegen auch Hinweise vor, dass der bestehende Grenzwert für manche Fälle noch zu hoch ist [6].

Auch hier zeigen in Tafel 2 die Ergebnisse einer Betonfamilie, dass der Grenzwert immer zuverlässig eingehalten wurde.

Es zeigte sich erwartungsgemäß, dass die Bestimmung der Dichtigkeit des Betons (Wasserleitfähigkeit), die seit 2008 bei Beton für die Expositionsklasse XC4 durchzuführen war, keine aussagekräftige Prüfung

zur Beurteilung des Karbonatisierungswiderstands [8] darstellt. Deshalb wurde eine neue Prüfung zur Bestimmung des Karbonatisierungswiderstands gemäß SIA 262/1 auf den 1.1.2013 eingeführt.

In Bild 5 sind Ergebnisse von 14 Betonwerken dargestellt. Bei der Betonsorte C (XC4, w/z max. 0,50) ist erwartungsgemäß der Karbonatisierungswiderstand größer als bei der Betonsorte B (XC3, w/z max. 0,60).

Bild 6 zeigt die Ergebnisse von innerhalb von drei Jahren durchgeführten Prüfungen in einem Betonwerk bei einer Betonfamilie, die mehrere Betonsorten mit verschiedenen Größtkörnern und Zementarten umfasst, die alle der Betonsorte C (XC4) entsprechen. Der Grenzwert von 5,0 mm/a^{0,5}

wurde immer eingehalten. Der Mittelwert lag bei 3,9 mm/a^{0,5} und die Standardabweichung bei 0,6 mm/a^{0,5}.

Zudem wurde 2012 noch ein Merkblatt zur Alkali-Aggregat-Reaktion (SIA) herausgegeben, in dem geregelt ist, wie der Nachweis eines AAR-widerstandsfähigen Betons zu erfolgen hat [17].

Aktuelle Situation

Mit Herausgabe der SN EN 206 mit Datum 1.1.2016 wurde die bestehende Situation weitestgehend fortgeführt, d.h., für übliche Expositionsklassen sind die bestehenden Betonsorten mit Anforderungen definiert (Tafel 3). Für weitere Dauerhaftigkeitseigenschaften – wie beispielsweise AAR- oder Sulfatwiderstand – bestehen zusätzliche Regelungen.

Ausblick

Die bisherigen Bestimmungen haben sich im Wesentlichen bewährt. Als einen aktuellen Diskussionspunkt sind die Vorgaben der SN EN 206 an die Betonzusammensetzung zu nennen. Es wird argumentiert, wenn mit Prüfungen der Nachweis der Dauerhaftigkeit erbracht wird, doch diese Vorgaben nicht oder nur noch sehr eingeschränkt notwendig sind. Dadurch könnte Beton technisch, ökonomisch und ökologisch weiter optimiert werden. Überlegungen hierzu laufen.

Dies würde jedoch bedingen, dass bei einem Beton alle relevanten Eigenschaften durch Prüfungen erfasst werden können. In den letzten Jahren zeigt sich zwar nicht häufig, aber immer wieder, dass Betone mit ungenügenden Frischbetoneigenschaften ausgeliefert werden. Die Ursachen dafür sind vielfältig und rühren zumeist von Problemen bei der Produktion, dem Transport, aber auch von wirtschaftlicher bzw. betontechnologisch unsachgemäßen Optimierungen her. Die ungenügenden Frischbetoneigenschaften können die Konsistenz, der Widerstand gegen Entmischung oder auch ein ungenügender Luftgehalt sein. Im Prinzip wäre dies bereits heute mit den bestehenden Prüfungen zu-

Tafel 3: Tabelle NA.6 der SN EN 206 – Anforderungen an die Zusammensetzung und Prüfung der üblichen Betonsorten mit einem Größtkorn der Gesteinskörnung von 8 mm bis 32 mm (Abkürzungen der Dauerhaftigkeitsprüfungen siehe Tafel 1)

Bezeichnung Anforderungen	Sorte 0 (Null)	Sorte A	Sorte B	Sorte C	Sorte D (T1)	Sorte E (T2)	Sorte F (T3)	Sorte G (T4)
Expositionsklasse (Kombination der aufgeführten Klassen)	X0(CH)	XC2(CH)	XC3(CH)	XC4(CH), XF1(CH)	XC4(CH), XD1(CH), XF2(CH)	XC4(CH), XD1(CH), XF4(CH)	XC4(CH), XD3(CH), XF2(CH)	XC4(CH), XD3(CH), XF4(CH)
Maximaler w/z-Wert bzw. (w/z) _{eq} -Wert [-]	–	0,65	0,60	0,50	0,50	0,50	0,45	0,45
Mindestzementgehalt z _{min} [kg/m ³] ^{1) 2)}	–	280	280	300	300	300	320	320
Dauerhaftigkeitsprüfungen ³⁾	keine	keine	WL ⁴⁾ , KW	KW	KW, FT	KW, FT	CW, FT	CW, FT
Andere Anforderungen	SN EN 126320 enthält Anforderungen an die Gesteinskörnungen							
Freigegebene Zementarten (Tabelle NA. 1)	Bei der Kombination von Expositionsklassen gilt für die Wahl des Zements jeweils die strengste Anforderung							

- 1) Der Mindestzementgehalt gilt für Betone ohne Zusatzstoffe und mit einem Größtkorn D_{max} 32 mm. Wird ein anderes Größtkorn D_{max} verwendet, ist der Zementgehalt entsprechend Tabelle NA.7 anzupassen.
- 2) Bei der Zementart CEM II/B-LL sind die Fußnoten der Tabelle NA.1 zu beachten.
- 3) Prüfungen gemäß Norm SIA262/1, Anhang A, B, C und I, für die Wasserleitfähigkeit (WL), Chloridwiderstand (CM), Frost-Tausalz-Widerstand (FT) und Karbonatisierungswiderstand (KW). Bei den Prüfungen gelten die Grenzwerte und Kriterien gemäß Ziffer NA.8.2.3.4 (Tabelle NA.14).
- 4) Die Bestimmung der WL ist durchzuführen, falls der Nachweis gemäß Ziffer NA.8.2.3.4 zu erbringen ist.

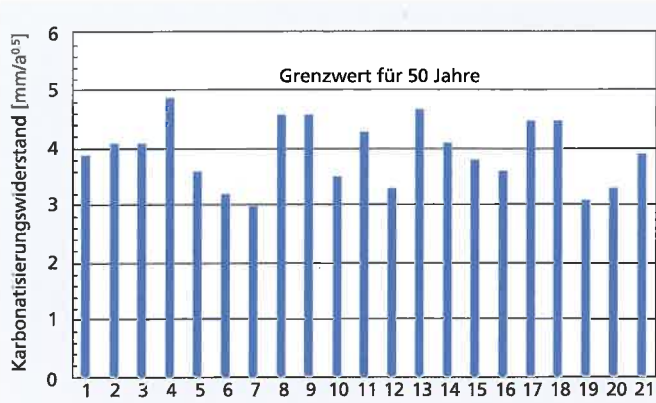


Bild 6: Ergebnisse der Prüfung des Karbonatisierungswiderstands bei der Betonsorte C (XC4) (Betonfamilie mit verschiedenen Betonsorten) aus einem Betonwerk während drei Jahren [7]

meist erkennbar, sofern die Betonproduktion ausreichend überwacht und die Ergebnisse mit betontechnologischem Sachverstand beurteilt würden. In der SN EN 206 wird in Tabelle 29 auch auf zusätzliche Prüfungen zum Konformitätsnachweis (Tab. 21, 22 der EN 206) hingewiesen, um die Betonqualität umfassender als nur beim Konformitätsnachweis zu bestimmen.

In letzter Zeit stellte sich vermehrt die Frage, inwieweit die Betonqualität im separat hergestellten Prüfkörper, wie sie für den Konformitätsnachweis zu erbringen ist, repräsentativ für diejenige im Bauteil ist. Die separat hergestellten Prüfkörper werden gemäß SN EN 12390-2 [10] bis zur Prüfung unter Wasser gelagert (Ausnahme: Prüfung des Karbonatisierungswiderstands). Bei den Bauteilen selber ist die Nachbehandlung jedoch schlechter. Zudem sind die Normvorgaben in der SIA 262 zur Nachbehandlung, insbesondere bei Temperaturen ab ca. 15 °C, teilweise ungenügend bzw. bei niedrigeren Temperaturen zu lange [11]. Die Druckfestigkeit ist auch keine geeignete Kenngröße, um die Nachbehandlungsdauer von Beton mit einer ausreichenden Dauerhaftigkeit festzulegen. Mit einer Korrektur der Norm SIA 262 soll dieser Missstand weitgehend behoben werden. Auch nach dieser Korrektur sind aber weiterhin Differenzen zwischen der Betonqualität im separat hergestellten Prüfkörper und dem Bauteil zu erwarten. Es ist offenkundig, dass der Einbau und die Verdichtung im Bauteil von dem im separat hergestellten Prüfkörper abweichen, weshalb z.B. in der SN EN 13791 [12] ein Korrekturfaktor für die am Bohrkern ermittelte Würfeldruckfestigkeit im Vergleich zur am Würfel er-

mittelten eingeführt wurde.

Im 2011 publizierten Nationalen Anhang zur SN EN 13670 [13] wurde für den Abnehmer des Betons ein Prüfungssystem eingeführt, das zwischen Prüfungen von separat hergestellten Prüfkörpern (TT-1) und Bohrkernen aus dem Bauwerk unterscheidet. Bei den Bohrkernprüfungen wird weiter unterschieden, ob es sich u.a. um jungen Beton mit einem Prüfalter von

28 Tagen (TT-2) oder ein deutlich höheres Prüfalter (TT-3) handelt. Für das Prüfsystem TT-1 gelten die gleichen Grenzwerte wie auch beim Konformitätsnachweis in der SN EN 206. Für das Prüfungssystem TT-2 sind bereits heute Richtwerte für Dauerhaftigkeitsprüfungen an Bohrkernen in der SN EN 13670 enthalten. Da zu den Dauerhaftigkeitseigenschaften des Betons im Bauwerk jedoch nur wenige Ergebnisse vorliegen, wird in der SN EN 13670 darauf hingewiesen, dass die Richtwerte bei einem konkreten Bauvorhaben zu überprüfen und ggf. zu anzupassen sind. Da diese Überprüfung sehr aufwendig ist, soll im Rahmen eines neu gestarteten Forschungsprojekts [14] die Betonqualität im Bauteil untersucht werden. Erste Ergebnisse zeigen, dass die Betonrohichte im Bauteil stärker streut und teilweise 50 kg/m³ bis über 100 kg/m³ unter der vom separat hergestellten Prüfkörper liegt. Die am Bohrkern bestimmte Druckfestigkeit ist dann auch teilweise mehr als 15 % (Korrekturfaktor SN EN 13791) niedriger als die am Würfel bestimmte. Auch beim Chloridmigrationskoeffizienten zeigt sich zumeist ein deutlicher Unterschied zwischen der Betonqualität im Bauteil und im separat hergestellten Probekörper. Der Frost-Tausalz-Widerstand des Betons im Bauwerk ist demgegenüber gemäß den ersten Untersuchungen ähnlich zu dem am separat hergestellten Probekörper ermittelten. Jedoch wurden bisher nur Betone mit Luftporenbildner untersucht, die sich gemäß den bisherigen Erkenntnissen [15] als weniger empfindlich auf eine nicht optimale Nachbehandlung im Vergleich zu Beton ohne künstlich eingeführt Luftporen zeigen.

Die Nutzungsdauer von Stahlbeton wird neben der Betonqualität auch durch die Dicke der Bewehrungsüberdeckung bestimmt. In der SIA 262 sind hierzu Anforderungen an die nominelle Überdeckung in Abhängigkeit von der Expositionsklasse sowie Toleranzen (zumeist ± 10 mm) enthalten. Das heißt, außerhalb der Toleranz dürfte gemäß Norm kein Messwert liegen. Da in der Praxis aber immer wieder einzelne Messwerte ausserhalb der Normvorgaben liegen, ergeben sich dann Diskussionen, ob es sich um einen korrekten Messwert der Überdeckung handelt, bzw. ob dies normkonform ist bzw. die Gebrauchstauglichkeit wesentlich beeinflusst wird. Deshalb wird versucht zu klären, wie die Minimalüberdeckung mit Messungen am fertigen Bauteil zukünftig nachzuweisen ist [16].

Literatur

- [1] SN EN 206-1 „Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität“
- [2] Jacobs, F.; Leemann, A.: Betoneigenschaften nach SN EN 206-1, 2007, VSS-Bericht 615, (www.tfb.ch/publikationen)
- [3] SIA 262/1: 2013-08 „Betonbau – Ergänzende Festlegungen“ (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich)
- [4] SN EN 12390-9 „Prüfung von Festbeton – Teil 9: Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand – Abwitterung“
- [5] Werner, R.; Hunkeler, F.; Mühlethaler, U.; Ly, C.: Evaluation des Frosttaumittelwiderstands von Beton – Vergleich von vier Prüfverfahren, 2016, VSS-Bericht 1554 (www.tfb.ch/publikationen)
- [6] Bisschop, J.; Schiegg, Y.; Hunkeler, F.: Modelling the corrosion initiation of reinforced concrete exposed to deicing salt, VSS-Bericht 676, 2016 (www.tfb.ch/publikationen)
- [7] TFB: Unveröffentlichte Ergebnisse von Dauerhaftigkeitsprüfungen
- [8] Hunkeler, F.; Lammar, L.: Anforderungen an den Karbonatisierungswiderstand von Beton, 2012, VSS-Bericht 649 (www.tfb.ch/publikationen)
- [9] Lunk, P.: Praktische Erfahrungen mit den neuen Betonnormen. 19. Holcim Betontag, 24.9.2013
- [10] SN EN 12390-2 „Prüfung von Festbeton – Teil 2: Herstellung und Lagerung von Probekörpern für Festigkeitsprüfungen“
- [11] Jacobs, F.: Nachbehandlung von Beton. beton 66 (2016) H. 1+2, S. 24–28
- [12] SN EN 13791 „Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in Bauwerksteilen“
- [13] SN EN 13670 „Ausführung von Tragwerken aus Beton“
- [14] Jacobs, F.; Hunkeler, F.; Mühlan, B.: Prüfung und Bewertung der Betonqualität am Bauwerk, 2015, Forschungsprojekt Bundesamt für Strassen, ASTRA (unveröffentlicht)
- [15] Jacobs, F.; Hunkeler, F.; Mühlan, B.: Wirksamkeit und Prüfung der Nachbehandlungsmethoden von Beton, 2014, VSS-Bericht 665 (www.tfb.ch/publikationen)
- [16] Kenel, A.; Jacobs, F.: Messung und Auswertung der Bewehrungsüberdeckung, 2015, Forschungsprojekt Bundesamt für Strassen, ASTRA (unveröffentlicht)
- [17] Merkblatt SIA 2042 „Vorbeugung von Schäden durch die Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR) bei Betonbauten. 2012, mit Korrigenda 2015