

Klassifikation: Werkstoffe

## 1 Anwendungsbereich

In diesem Regelblatt wird der Einsatzbereich für Beton und Stahlbeton mit erhöhtem Säurewiderstand festgelegt. Des Weiteren werden die Anforderungen und erforderlichen Eignungsnachweise für diesen Hochleistungsbeton aufgeführt.

Bauwerke/Bauteile aus Ortbeton mit erhöhtem Säurewiderstand sind nicht Gegenstand dieses Regelblattes, da keine ausreichenden Erfahrungen vorliegen. Des Weiteren wäre, um die geplante Qualität des Betons auch in der Bauausführung zu erreichen, für Bauwerke/Bauteile aus Ortbeton mit erhöhtem Säurewiderstand, eine Projektbegleitung sowie eine baubegleitende Qualitätsprüfung durch einen Sachkundigen unbedingt notwendig. Damit ist die Wirtschaftlichkeit von Ortbeton mit erhöhtem Säurewiderstand im Regelfall nicht gegeben.

## 2 Anforderungen

### 2.1 Einsatzbereich

Für die Expositionsclassen XA1 und XA2 nach DIN 1045-2 und DIN EN 206 sind Einsteigschächte nach den Regelblättern 200-202 bzw. Bauwerke und Bauteile aus herkömmlichem Beton/Stahlbeton nach WN/Rgbl. 110 ausreichend korrosionsbeständig.

Wenn mit besonders aggressivem Abwasser ab der Expositionsklasse XA3 nach DIN 1045-2 und DIN EN 206 mehr als kurzzeitig zu rechnen ist, reicht herkömmlicher Beton/Stahlbeton nach WN/Rgbl. 110 bzw. für Fertigteile nach Regelblatt 200-202 nicht aus.

Dies ist z. B. oft dann der Fall, wenn bereits angefaultes Abwasser aus Abwasserdruckleitungen bzw. aus Druckentwässerungssystemen eingeleitet wird oder kurz vor Pumpwerken, wo das Abwasser erfahrungsgemäß eine lange Aufenthaltszeit aufweist.

Wenn Angriffsgrade ab der Expositionsklasse XA3 bis zu den in Tabelle 1 aufgeführten Grenzwerten mehr als kurzzeitig vorliegen, sind für Beton-/Stahlbetonbauteile, Fertigteile aus Beton/Stahlbeton mit erhöhtem Säurewiderstand einzusetzen, z. B. bei langer Aufenthaltszeit des Abwassers im Kanalnetz oder bei nicht ausreichender Lüftung. Für den Begriff kurzzeitig gilt die Definition in DWA-M 168.

Um bei geplanten Baumaßnahmen festzulegen, ob Beton mit erhöhtem Säurewiderstand erforderlich und ausreichend ist, kann bei Verdacht eine Spezifizierung der korrosiven Belastungen durch eine Messkampagne sinnvoll sein. Die Messkampagne ist an die örtlichen Erfordernisse und die Fragestellung (Grenzwerte nach Tabelle 1 dieses Regelblattes) anzupassen. Weitere Hinweise hierzu können aus dem DWA-M 168 entnommen werden.

**Tabelle 1 – Grenzwerte für die Umgebungsbedingungen beim Einsatz von Fertigteilen aus Beton mit erhöhtem Säurewiderstand**

Parameter	Grenzwert
pH-Wert	≥ 3,5
CO <sub>2</sub> [mg/l]	≤ 150
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> [mg/l]	≤ 300
Mg <sub>2</sub> <sup>+</sup> [mg/l]	≤ 5000
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	≤ 6000

ANMERKUNG Die Grenzwerte der Tabelle 1 entsprechen einem Angriff mit einer Aggressivität, die stärker ist als die der Expositionsklasse XA3. Der Säureangriff von pH 3,5 ist beispielsweise rund 3-mal höher als bei der Expositionsklasse XA3, wo der pH-Wert nicht unter 4,0 liegt (logarithmische Skala).

Fortsetzung Seite 2 bis 5

Überschreitet die Aggressivität des Abwassers die Werte nach Tabelle 1 für ein oder mehrere Parameter (Hinweis: für pH, wenn der Grenzwert unterschritten wird), sind auch Fertigteile aus Beton/Stahlbeton mit erhöhtem Säurewiderstand nicht mehr ausreichend korrosionsbeständig. Da Polymerbeton kostintensiver als Beton mit erhöhtem Säurewiderstand ist, sind im Regelfall erst dann Polymerbetonfertigteile zu verwenden. Polymerbeton ist in Abhängigkeit von den verwendeten Reaktionsharzen beständig gegenüber Abwasser, das der DIN 1986-3 entspricht, jedoch für pH-Werte im Bereich von 1,0 – 12.

## 2.2 Betonfestigkeit/Statik und Expositions- und Feuchtigkeitsklassen

Die Druckfestigkeitsklasse des Betons muss mindestens C60/75 betragen. Bei der Tragwerksplanung ist diese hohe Festigkeit zu beachten, ggf. sind besondere Anforderungen in Bezug auf die Bewehrung vorzusehen (Rissbreitenbeschränkung).

Beton und Stahlbeton mit erhöhtem Säurewiderstand muss mindestens folgenden Expositions- und Feuchtigkeitsklassen entsprechen: XC4, XD3, XA3 (ggf. XF4 und XM2 falls in WN/Rgbl. 110 gefordert), WA.

## 2.3 Eignungsnachweise für Beton mit erhöhtem Säurewiderstand

### Allgemeines

Die in diesem Regelblatt genannten Eigenschaften von Beton mit erhöhtem Säurewiderstand sind bei der Erstprüfung von einer unabhängigen Prüfstelle zu bestätigen. Die gleichbleibende Güte dieses Betons ist durch ein, von einer unabhängigen Prüfstelle erstelltes, Qualitätssicherungshandbuch zu gewährleisten und mit regelmäßigen Zwischenprüfungen (Porosität, Chloridmigration) zu überwachen.

Im Folgenden ist eine auf langjährigen Erfahrungen basierende Prüfprozedur mit zugehörigen Bewertungskriterien beschrieben, mit Hilfe derer die Eignung von Hochleistungsbetonen gegenüber einem Säureangriff zu prüfen ist.

Mit der Prüfprozedur kann die Beständigkeit und Dichtheit von Betonen gegenüber schädigenden Medien, insbesondere Schwefelsäure, Sulfat und Chlorid, sowie die „Betonqualität“ von Betonrezepturen ermittelt werden. Unter der „Betonqualität“ ist die Mikrorissfreiheit der Bindemittelmatrix gemeint, die einen entscheidenden Einfluss auf die Langzeitbeständigkeit hat. Da die Bestimmung der Mikrorissfreiheit über die Bestimmung der Frost-(Tausalz)-Beständigkeit erfolgt, wird die Frost-(Tausalz)-Beständigkeit gleich mit bestimmt.

Die Prüfprozedur beinhaltet die im folgenden aufgeführten Einzelprüfungen. Bei den Prüfungen sind jeweils die Grenzwerte angegeben, die eine Betonrezeptur in ihrer Gesamtheit ohne Ausnahme einhalten muss, um als Rezeptur höchster Beständigkeit und Dichtheit anerkannt zu werden. Die Grenzwerte liegen jeweils knapp über den Werten, die ein Beton (auf Basis Portlandzement als hydraulischer Bindemittelanteil) maximal erreichen kann.

Die Erfahrung zeigt, dass die maximale Beständigkeit und Dichtheit eines Betons mit höchster Beständigkeit nur dann mit Sicherheit in die Praxis umgesetzt werden kann, wenn nicht nur die angegebene Zusammensetzung sowie die jeweilige Mischreihenfolge eingehalten wird, sondern vor allem die angegebenen Ausgangsstoffe in der optimierten bzw. getesteten Kombination verwendet werden. Der Wechsel der Ausgangsstoffe (Zement, Flugasche, Mikrosilika, Feinstflugasche, Betonzusatzmittel, Gesteinskörnung) kann zu ähnlich guten Beständigkeiten und Dichtheiten führen, dies ist jedoch nicht garantiert und muss, wie bei allen anderen Änderungen, geprüft und durch die o.g. Prüfstelle bestätigt werden.

Die gleichbleibende Qualität der Betonausgangsstoffe ist im Rahmen des o. g. Qualitätssicherungshandbuchs anhand von durch die unabhängige Prüfstelle festzulegenden, charakteristischen Materialparametern (z. B. für Zement der Wasseranspruch, die Dichte, die Feinheit, die Erstarrungszeiten, die chemische Zusammensetzung und die Festigkeit) durch eine umfangreiche Erstprüfung der Betonausgangsstoffe und regelmäßige Zwischenprüfungen zu kontrollieren.

### Säurebeständigkeit

Die Prüfung der Beständigkeit der Betone gegenüber Schwefelsäure muss nach dem Prüfverfahren der Kiwa GmbH, MPA Berlin-Brandenburg erfolgen.

Nach dem Prüfverfahren der Kiwa GmbH, MPA Berlin-Brandenburg wird die Säurebeständigkeit nach 12-wöchiger Lagerung von Betonprobekörpern in Schwefelsäure pH 3,5 ermittelt. Es erfolgt die Bestimmung des Masseverlustes an den Prüfkörpern mit und ohne Simulation eines zusätzlichen abrasiven Angriffs (wöchentliche Entfernung der Oberflächenbeläge). Anschließend erfolgt die stereo- und polarisationsmikroskopische Bestimmung der Abtrags- bzw. der Schädigungstiefen der Probekörper mit Simulation eines zusätzlichen abrasiven Angriffs. Die Prüfung erfolgt im Vergleich zu einem Referenzbeton „SRB 85/35“ mit optimierter Säurebeständigkeit.

Die Beständigkeit des eingesetzten Betons muss eine Säurebeständigkeit hinsichtlich der mikroskopisch ermittelten Schädigungstiefe aufweisen, die lediglich 10 % schlechter sein darf als die des „SRB 85/35“. Im Mittel werden bei dem Verfahren für den „SRB 85/35“ bei einem pH-Wert von 3,5 Schädigungstiefen von ca. 1,1 mm bis 1,3 mm gemessen.

### Sulfatbeständigkeit

Die Prüfung der Sulfatbeständigkeit muss nach dem SVA-Verfahren <sup>[1]</sup> an Mörtelflachprismen mit der geplanten Bindemittelzusammensetzung (Normmörtel nach DIN EN 196: 2005-05, das Bindemittel ist mengenproportional, wie in der abzu prüfenden Betonzusammensetzung,  $w/z_{eq}$ -Wert 0,5) erfolgen.

Die Längendehnung der Mörtelflachprismen durch die Lagerung in Sulfatlösung muss nach 91 Tagen kleiner als 0,5 mm/m sein.

### Dichtheit gegenüber gelösten Schadstoffen (Porosität)

Zur Ermittlung der Porosität der Betone ist die Gesamtporosität aus der Roh- und Reindichte zu bestimmen sowie das kumulative Porenvolumen und die Porengrößenverteilung im Porenbereich  $< 100 \mu\text{m}$  (0,1 mm) mittels Quecksilberdruckporosimetrie.

Die Gesamtporosität des Betons, ermittelt aus der Roh- und Reindichte, muss kleiner als 11 Vol.-% sein. Das kumulative Porenvolumen des Betons im Porenbereich  $< 100 \mu\text{m}$  (0,1 mm), ermittelt mittels Quecksilberdruckporosimetrie, muss kleiner als  $40 \text{ mm}^3/\text{g}$  sein, das mittlere Porenvolumen kleiner als  $0,1 \mu\text{m}$ .

### Dichtheit gegenüber Chloriden

Zur Ermittlung der Dichtheit der Betone gegenüber dem Eindringen von Chloriden (Lochfraßkorrosion der Stahlbewehrung) ist der Chloriddiffusionskoeffizient mit dem Chloridmigrations-Verfahren nach Tang <sup>[2]</sup> und Schießl <sup>[3]</sup> zu messen.

Der Chloriddiffusionskoeffizient muss kleiner als  $1,0 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  sein.

### Mikrorissfreiheit der Bindemittelmatrix, Frost-Tausalz-Beständigkeit

Die Prüfung der Frost-(Tausalz)-Beständigkeit sowie indirekt die Mikrorissfreiheit der Betone muss in Anlehnung an das CDF-Verfahren der RILEM Draft Recommendation 117-FDC <sup>[4]</sup> jedoch mit 56 anstatt 28 Frost-Tausalz-Zyklen erfolgen. Die Prüfkörper werden nicht mit Tefloneinsätzen gefertigt sondern aus Würfeln geschnitten, so dass die Betonmatrix und nicht die geschalte Oberfläche geprüft wird.

Bei einem vorhandenen Mikrorissgefüge nimmt die Frost-Tausalz-Beständigkeit stark ab. Der Abfall des dynamischen E-Moduls, gemessen mit Hilfe der Ultraschalllaufzeiten, darf nicht größer als 40 % sein. Der Masseverlust des Betons sollte nicht größer als  $1500 \text{ g}/\text{m}^2$  sein.

Ein weiteres Beurteilungskriterium ist, ob die Abwitterung insbesondere nach ca. 35 bis 45 FT-Zyklen zunimmt oder sich ein linearer Gesamtverlauf der Abwitterung zeigt. Nimmt die Abwitterung in diesem Bereich zu, ist dies ein Zeichen für ein vorhandenes Mikrorissgefüge.

**Korrosionsschutz der Stahlbewehrung (Restalkalität)**

Die Bestimmung der Restalkalität der Betone, die für den Korrosionsschutz der Stahlbewehrung notwendig ist, muss mit Hilfe der Thermogravimetrie erfolgen. Die Restalkalität nach 91 Tagen darf nicht kleiner sein als  $3 \text{ g Ca(OH)}_2 / 100 \text{ g Bindemittel}$ .

**Rutschhemmung**

Für Schächte und begehbare Abwasserkanäle ist auf eine ausreichende Rutschhemmung gemäß Regelblatt 281 bereits in der Planungsphase zu achten.

**Zusammenfassung**

In Tabelle 2 sind die Prüfkriterien mit den zugehörigen Grenzwerten zusammenfassend aufgeführt. Als Maßstab, insbesondere im Bereich der Säurebeständigkeit, gilt nach wie vor der Referenzbeton „SRB 85/35“ mit der Bindemittelzusammensetzung CEM I, Flugasche, Mikrosilika. Demnach sind in Tabelle 2 zusätzlich die Werte aufgeführt, die mit dem „SRB 85/35“ typischerweise ermittelt werden.

**Tabelle 2 – Übersicht, Prüfkriterien und Grenzwerte für Beton mit erhöhtem Säurewiderstand, typische Werte für den „SRB 85/35“ (Referenzbeton)**

Messgröße <sup>a)</sup>	Grenzwerte für Beton mit erhöhtem Säurewiderstand	Typische Werte „SRB 85/35“ <sup>b)</sup>
<b>Säurebeständigkeit</b> Verfahren der Kiwa GmbH, MPA Berlin-Brandenburg	Max. 10% höhere Schädigungstiefen als der „SRB 85/35“	Schädigungstiefe 1,1 mm-1,3 mm (12 Monate H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> pH 3,5)
<b>Sulfatbeständigkeit</b> SVA-Verfahren	Längenänderung Probekörper < 0,5 mm/m	Längenänderung Probekörper < 0,1 mm/m
<b>Gesamtporosität aus Roh- und Reindichte</b>	< 11 Vol.-%	9 Vol.-% - 10 Vol.-%
<b>Kumulatives Porenvolumen &lt; 0,1 mm</b> (Quecksilberdruckporosimetrie)	< 40 mm <sup>3</sup> /g	20 mm <sup>3</sup> /g - 30 mm <sup>3</sup> /g
<b>Mittleres Porenvolumen &lt; 0,1 mm</b> (Quecksilberdruckporosimetrie)	< 0,1 µm	0,02 µm - 0,04 µm
<b>Chloridmigrationskoeffizient</b> nach Tang, Schießl	< $1,0 \cdot 10^{-12} \text{ mm}^2/\text{s}$	$0,4 \cdot 10^{-12} \text{ mm}^2/\text{s}$ – $0,6 \cdot 10^{-12} \text{ mm}^2/\text{s}$
<b>Mikrorissfreiheit, FT-Beständigkeit</b> CDF-Verfahren, 56 Zyklen	Abfall dyn. E-Modul < 40 %, Masseverlust < 1500 g/m <sup>2</sup>	Abfall dyn. E-Modul 10 %-30 %, Masseverlust 400 g/m <sup>2</sup> -1200 g/m <sup>2</sup>
<b>Restalkalität (Ca(OH)<sub>2</sub>-Gehalt)</b> Thermogravimetrie	> 3 g Ca(OH) <sub>2</sub> /100 g Bindemittel	7 g - 9 g Ca(OH) <sub>2</sub> /100 g Bindemittel

a) Prüfverfahren : Siehe Abschnitt 2.3

b) Bezeichnung des als Referenz verwendeten Betons

### 3 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN 1045-2, *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – Anwendungsregeln zu DIN EN 206*

DIN 1045-3, *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 3: Bauausführung*

DIN 1045-4, *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 4: Ergänzende Regeln für die Herstellung und die Konformität von Fertigteilen*

DIN EN 206, *Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität*

DWA-M 168, *Korrosion von Abwasseranlagen; Abwasserableitungen*

Regelblatt 200, *Einsteigschacht DN 1000 aus Beton- und Stahlbetonfertigteilen nach DIN V 4034-1 und DIN EN 1917 für Abwasserkanäle ≤ DN 600*

Regelblatt 201, *Einsteigschacht DN 1200 aus Beton- und Stahlbetonfertigteilen nach DIN V 4034-1 und DIN EN 1917 für Abwasserkanäle ≤ DN 800*

Regelblatt 202, *Einsteigschacht DN 1500 aus Beton- und Stahlbetonfertigteilen nach DIN V 4034-1 und DIN EN 1917 für Abwasserkanäle ≤ DN 1000*

Regelblatt 281, *Sonderbauwerke - Hinweise zur Ausstattung*

WN/Rgbl. 110, *Bauteile aus Beton und Stahlbeton*

### Literaturhinweise

- [1] Deutsches Institut für Bautechnik: Prüfplan für die Zulassungsprüfung eines von DIN 1045 abweichenden Betons mit hohem Sulfatwiderstand, DIBt, Berlin, Februar 1998
- [2] Tang, L.; Nilsson, L.-O.: Chloride Binding Capacity, Penetration and Pore Structures of Blended Cement Pastes with Slag and Fly Ash. London: Elsevier Applied Science, 1991. - In: International Conference on Blended Cements in Construction, held at the University of Sheffield, 9-12 September 1991; Ed.: Swamy, R. N.
- [3] Schießl, P., Wiens, U.: Neue Erkenntnisse zum Einfluss von Steinkohlenflugasche auf die chloridinduzierte Korrosion von Stahl in Beton. In: ibausil Tagungsbericht - Band 1; Hrsg.: F. A. Finger-Institut für Baustoffkunde, Stark, J.
- [4] RILEM Draft Recommendation: 117-FDC Freeze-Thaw and Deicing Resistance of Concrete: Draft Recommendation for test method for the freeze-thaw resistance of concrete; Test with water (CF) or with sodium chloride solution (CDF)