

# Vergleichende Untersuchungen zum Chloridwiderstand von Betonen

## Zusammenfassung

Mit dem Forschungsprojekt wurden drei Ziele verfolgt:

- Vergleich der möglichen Prüfungen zur Charakterisierung des Widerstandes von Beton gegen von aussen eindringende Chloridionen, des so genannten **Chloridwiderstandes**.
- Validierung der Ergebnisse an Laborbetonen mit Betonproben aus älteren chloridbelasteten Betonbauten.
- Erarbeiten von Empfehlungen für die Prüfung und die zugehörigen Kriterien zur Beurteilung des Chloridwiderstandes von Betonen als Grundlage für eine SIA-Norm.

Im Rahmen des Projektes wurden sehr umfangreiche Untersuchungen zum Chloridwiderstand von Betonen mit und ohne Betonzusatzstoffe durchgeführt. Diese haben eine Reihe wichtiger Erkenntnisse gebracht und teilweise bekannte Zusammenhänge aus der Literatur bestätigt. Es wurden folgende Betonsorten untersucht:

- Normalbetone (Betone mit Portlandzement, ohne Betonzusatzstoffe)
- Betone mit Flugasche
- Betone mit Silikastaub
- Betone mit Hüttensand

Neben diesen Laborbetonen wurden ergänzend Betone aus Drittprojekten und Betone aus verschiedenen Bauwerken geprüft. Zur möglichen Charakterisierung des Chloridwiderstandes von Betonen wurden die folgenden Prüfverfahren eingesetzt (in Klammer: Kenngrösse des Verfahrens):

- ASTM-Test gemäss AASTHO T259-80 (elektrische Ladungsmenge)
- ibac- oder CTH-Test (Chloridmigrationskoeffizient oder kurz Migrationskoeffizient)
- Streicher-Test (elektrische Leitfähigkeit)
- Gaspermeabilität (Permeabilitätskonstante)
- Wasserleitfähigkeitsprüfung gemäss Norm SIA 162/1, Prüfung Nr. 5 mit Modifikation VPL (Wasserleitfähigkeit)
- Wasseraufsaugversuch (Chloridgehalt oder Chloridanreicherung)

In den folgenden Abschnitten sind die wichtigsten Ergebnisse der Untersuchung zusammengefasst.

### Materialtechnologische Einflüsse

- Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Betonzusammensetzung, vorab der Wasser-Zement-Wert (w/z) bzw. Wasser-Bindemittel-Wert (w/B) sowie die Art und der Gehalt der Betonzusatzstoffe den Chloridwiderstand wesentlich bestimmen.
- Dem Einfluss des Bindemittelgehaltes, des Grösstkorns und der Zusatzmittel wurde nicht systematisch nachgegangen. Er ist eher als gering einzuschätzen, wie der Vergleich der wenigen Daten von Laborbetonen und von Betonen von Drittprojekten ergab. Die Datenmenge ist aber zu gering, um hierzu eine gesicherte Aussage zu machen.
- Zwischen dem Chloridwiderstand und anderen materialtechnologischen Parametern (z.B. w/z- oder w/B-Wert, Porosität, Druckfestigkeit) konnte keine für alle Betonarten gültige Beziehung gefunden werden. Die Materialparameter geben lediglich einen groben Hinweis.
- Der Chloridwiderstand verbessert sich in der Regel mit dem Alter. Die untersuchten Bauwerksbetone weisen entsprechend ihrem Alter einen mittleren bis hohen Widerstand auf. Rechnet man die aktuellen Werte aber auf die 28-Tage-Werte zurück, schneiden sie deutlich schlechter ab als die untersuchten Laborbetone.

### **Bestimmung des Chloridwiderstandes**

Als routinemässige Laborprüfung für die Eignungsprüfung und für die Qualitätssicherung von Betonen wie auch für die Untersuchung von Bauwerksproben können der ibac-Test, die Bestimmung der Wasserleitfähigkeit und in vermindertem Masse auch der Streicher-Test grundsätzlich empfohlen werden (Kriterien: **Tabelle 7.4**). Die verschiedenen Prüfungen sind in **Kap. 3 und 5.4** beschrieben. Nach dem Abwägen der Vor- und Nachteile empfiehlt die Forschungsstelle, in Zukunft den ibac-Test zur Bestimmung des Chloridwiderstandes zu verwenden und dieses Verfahren in einer SIA-Norm zu regeln. Folgende Überlegungen waren dabei von Bedeutung:

- Das ibac-Verfahren ergibt gut reproduzierbare Resultate, wie der Vergleich der Ergebnisse dieser Arbeit mit jenen aus der Literatur gezeigt hat. Auch die Resultate von Bauwerksbetonen können gut eingeordnet werden. Zudem liefert sie als einzige der untersuchten Prüfverfahren eine für die Simulation und für die Prognose der Zustandsentwicklung wie auch für Lebensdauerberechnungen brauchbare Kenngrösse. Es besteht zudem eine gewisse Chance, dass dieses Verfahren in einer EN-Norm genormt wird.
- Der grosse Vorteil der Bestimmung der Wasserleitfähigkeit ist, dass diese Prüfung als SIA-Norm (Norm SIA 162/1, Prüfung Nr. 5) bekannt ist und wichtige Details geregelt sind. Unklar ist allerdings, wie weit der Einfluss von Betonzusatzstoffen auf den Chloridwiderstand richtig erfasst wird. Es ergaben sich auch Fragen zur Versuchsanordnung (z.B. Mantelfläche abdichten oder nicht?). Die Prüfung hat als europäische Norm kaum eine Chance. Als Kenngrösse für den Chloridwiderstand erscheint die Wasserleitfähigkeit deshalb nur bedingt bzw. nicht geeignet. Weitere Untersuchungen wären hier erforderlich.
- Der Streicher-Test liefert zwar keinen Diffusionskoeffizienten, hat aber den Vorteil, dass er auch bei chloridhaltigen Betonproben eingesetzt werden kann. Bei Betonen mit hohem Chloridwiderstand scheint er auf Grund der vorhandenen Daten eher etwas empfindlicher zu sein als der ibac-Test, ist aber bei der Durchführung heikler. Für die Beurteilung von bestehenden, chloridbelasteten Bauteilen könnte diese Methode nützlich sein. Die Methode hat aber kaum eine Chance als genormtes Verfahren in Europa.
- Mit dem ibac-Test konnte im Vergleich zum Streicher-Test (und ASTM-Schnelltest) eine weit bessere Übereinstimmung mit publizierten Daten festgestellt werden. Beim ASTM-Test sind die beobachteten systematischen Abweichungen vermutlich auf verfahrenstechnische Unterschiede zurückzuführen. Weitere Untersuchungen wären hier erforderlich.

- Die Gaspermeabilität und der Wasseraufsaugversuch können auf Grund der Ergebnisse nicht zur Charakterisierung des Chloridwiderstandes empfohlen werden (**Tabellen 7.3 und 7.4**).

### **Prüftermin**

Der Zeitpunkt der Prüfung sollte grundsätzlich auf 28 Tagen festgelegt werden. Für wichtige oder grosse Bauwerke, bei denen sehr hohe Anforderungen an die Dauerhaftigkeit, insbesondere an den Chloridwiderstand, gestellt und Betone mit Mischzementen (Portlandzement mit Hüttensand, Flugasche, Silikastaub) oder Betonzusatzstoffen verwendet werden, sollten im Rahmen der Vorversuche auch zu einem späteren Zeitpunkt Prüfungen (z.B. nach 90 Tagen) durchgeführt werden.

Die Verbesserung des Chloridwiderstandes von Betonen mit dem Alter ist grundsätzlich positiv und ergibt eine gewisse Reserve für die Unsicherheiten bei der Ausführung. Diese Reserve sollte deshalb nicht durch einen sehr späten Prüftermin aufgebraucht werden.

### **Betone mit hohem Chloridwiderstand**

Der Vergleich der Resultate von den Laborbetonen mit den Ergebnissen der Untersuchungen an Bauwerken zeigt, dass die Anforderungen an den Chloridwiderstand von Betonen für neue Bauwerke eher hoch angesetzt werden müssen, um eine ausreichende Dauerhaftigkeit zu erzielen (**Tabelle Z.1**).

Expositionsklasse gemäss SN EN 206-1:2000		Überdeckung	
		40 bis 50mm	70 bis 80mm
Art der Beanspruchung:		Zulässige Einzelwerte für den Migrationskoeffizienten, m <sup>2</sup> /s	
<b>XD 1</b>	chloridhaltiger Sprühnebel	≤20 10 <sup>-12</sup>	keine Anforderung (≤40 bis 60 10 <sup>-12</sup> )
<b>XD 2</b>	dauernder Kontakt mit chloridhaltigem Wasser	keine Angaben wegen mangelnder Erfahrung (Empfehlung: wie XD 3)	
<b>XD 3</b>	chloridhaltiges Spritzwasser oder Kontaktwasser (wechselnd)	≤10 10 <sup>-12</sup>	≤20 bis 30 10 <sup>-12</sup>

**Tabelle Z.1:** Empfehlung für zulässige Einzelwerte für den mittels ibac-Test ermittelten 28-Tage-Migrationskoeffizienten von Beton für die Expositionsklasse XD (Korrosion ausgelöst durch Chloride).

Damit die in der **Tabelle Z.1** angegebenen zulässigen Einzelwerte in der Praxis erreicht werden, müssen die prüftechnische und die Materialstreuung berücksichtigt werden. Der anzustrebende Mittelwert muss deshalb um etwa 1/3 reduziert werden.

Ein hoher bis sehr hoher Chloridwiderstand kann erreicht werden durch:

- Reduktion des w/z-Wertes (≤ 0.4)
- bei w/B-Werten zwischen etwa 0.4 und 0.5 durch Zugabe von

- Silikastaub, auch in geringer Dosierung von 7M.% bezogen auf den Zementgehalt
- eher hohen Gehalten an Flugasche (über etwa 30M.%) oder Hüttensand (etwa 60M.%)
- oder entsprechende Mischzemente

Der in der Literatur oft beschriebene günstige Einfluss von Flugasche und Hüttensand konnte in dieser Arbeit nur teilweise bestätigt werden. Die Wirkung dieser beiden Betonzusatzstoffe hängt nicht nur von der Dosierung ab, sondern von verschiedenen anderen Faktoren, wie z.B. von deren Reaktivität, von der Art der Zugabe (Zumahlen oder Zumischen im Zementwerk, oder Zugabe zum Beton), vom w/B-Wert, evtl. von der Zementart und -festigkeitsklasse sowie von allfälligen Wechselwirkungen zwischen Zement, Betonzusatzmitteln und Betonzusatzstoffen (Korngrößenverteilung). Entsprechende Vorversuche sind deshalb zwingend.

Trotz der bisher durchgeführten umfangreichen Untersuchungen sind in verschiedenen Themenbereichen nach wie vor Wissenslücken vorhanden. Weitere Forschungsarbeiten sind notwendig, um sowohl für Neubauten wie auch für Instandsetzungen von Stahlbetonbauten ausreichende Kenntnisse und Erfahrungen zu haben und, um dem Ziel des „Null-Unterhaltes“ näher zu kommen. Im **Kapitel 8** werden dazu einige Hinweise gegeben.

Das abschliessende **Kapitel 9** enthält einige Empfehlungen für die Praxis.

**Dr. F. Hunkeler, Dr. Ch. Merz und H. Ungricht, TFB, Wildegg**

**Bericht VSS Nr. 568, November 2002**

Der Bericht kann beim VSS, Seefeldstrasse 9, 8008 Zürich, bezogen werden.