

**Zeitschrift:** Cementbulletin  
**Herausgeber:** Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton (TFB AG)  
**Band:** 69 (2001)  
**Heft:** 11

**Artikel:** Chloridwiderstand von Betonen  
**Autor:** Merz, Christine / Ungricht, Heidi  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-153876>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 04.04.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Chloridwiderstand von Betonen

In korrosionsgefährdeten Bauwerken stellt der Widerstand des Betons gegenüber eindringenden Chloridionen eine der wichtigsten Eigenschaften dar.

Die Korrosion der Bewehrung ist eine der wichtigsten Schadensursachen an Stahlbeton-Bauwerken im Strassenwesen. Sie wird durch eindringende Salze ausgelöst. Eine mangelhafte Betondeckung und/oder eine zu geringe Dichtigkeit des Deckbetons können schon nach kurzer Zeit zu Schäden führen.

Instandsetzungsarbeiten werden immer teurer und sind wegen des steigenden Verkehrsvolumens immer schwieriger zu realisieren. Eine vom Bundesrat eingesetzte Arbeitsgruppe veröffentlichte 1998 einen Bericht [2], in dem Vorschläge zur Sicherstellung einer möglichst kostengünstigen technisch ausreichenden Substanzerhaltung der Nationalstrassenwerke gemacht wurden. Darin wurden unter anderem Forschungen zum Thema «Null-Unterhaltsverfahren» empfohlen. Gemäss Definition der Arbeitsgruppe sind Null-Unterhaltsverfahren «Bauweisen, die sich gegenüber anderen durch eine ausserordentliche Langlebigkeit bei möglichst geringem Unterhalt auszeichnen».

Die unterhaltsfreie Nutzungsdauer von Stahlbetonbauten wird massgeblich durch den Zeitpunkt des Auftretens der chloridinduzierten Korrosion und der Ge-

schwindigkeit der Schadensentwicklung beeinflusst. In einem korrosionsgefährdeten Bauwerk stellt deshalb der Widerstand des Betons gegenüber eindringenden Chloridionen eine der wichtigsten Eigenschaften dar. Diese Eigenschaft wird im Folgenden «Chloridwiderstand» genannt.

## Transportmechanismen und Kenngrössen

Chloridionen können über verschiedene Transportmechanismen in den Beton gelangen. Im nicht wassergesättigten Betonoberflächenbereich dominiert normalerweise das kapillare Saugen («Huckepack»-Transport). In grösseren Tiefen, wo der Beton einen konstanten Feuchtigkeitsgehalt aufweist, bewegen sich Chloridionen mittels Diffusion durch den Porenraum. Die treibende Kraft ist dabei der Ausgleich der Ionenkonzentrationen im Porenwasser.

Die für den Chloridwiderstand wichtigen Transportarten in Betonen so-

wie die dazu gehörenden Kenngrössen sind in *Tabelle 1* zusammengefasst.

## Widerstand gegen chloridinduzierte Korrosion

Der Widerstand eines Bauteils aus Stahlbeton gegen chloridinduzierte Korrosion ist um so höher,

- je niedriger das kapillare Saugen und der Chloriddiffusionskoeffizient des Betons sind bzw. je dichter der Beton ist
- je grösser die Betondeckung ist
- je höher die Chloridbindekapazität des Zements ist
- je höher der kritische Chloridgehalt für relevante Korrosion ist
- je höher der elektrische Betonwiderstand ist und je höher die elektrochemischen Widerstände sind.

Zur Sicherstellung oder Erhöhung der Dauerhaftigkeit von Stahlbetonbauten ergeben sich demnach verschiedene Möglichkeiten. In vielen Fällen ist eine genügende Betondeckung in Kombination mit einer

Transportart	Treibende Kraft	Transportkoeffizient	Kenngrösse [Einheit]
Kapillares Saugen	Kapillardruck	Wasseraufnahmekoeffizient Wassereindringkoeffizient	$k_A$ [g/m <sup>2</sup> s <sup>0,5</sup> ] $k_E$ [m/s <sup>0,5</sup> ]
Ionendiffusion	Konzentrationsgradient	Diffusionskoeffizient	$D$ [m <sup>2</sup> /s]
Wasserpermeation	Absolutdruckgefälle	Darcykoeffizient	$k_D$ [m/s]
Migration	Elektrisches Gleichspannungsfeld	Ionenbeweglichkeit	$u_i$ [cm <sup>2</sup> /Vs]

Tab. 1 Die wichtigsten Chloridtransportarten in Betonen mit den dazu gehörenden Kenngrössen (nach [3]).

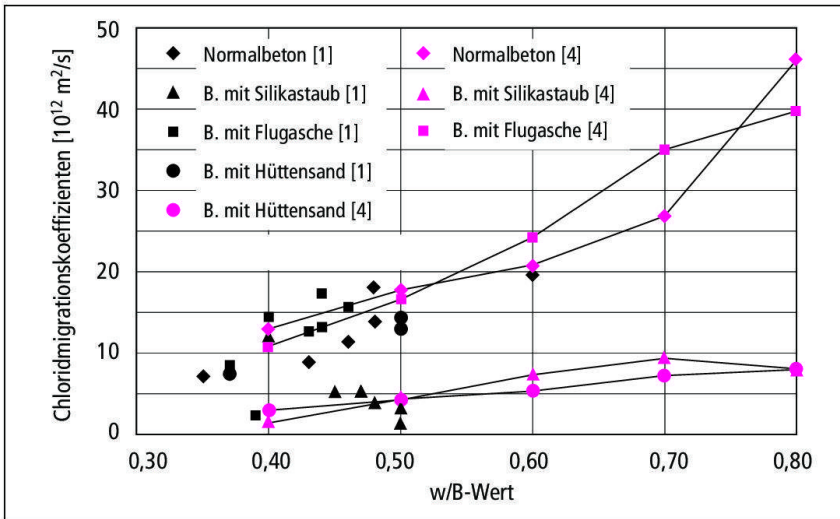


Abb. 1 Chloridmigrationskoeffizienten in Abhängigkeit von Wasserbindemittelwerten; Daten von TFB [1] und [4] (Laborbetone und Betone von Drittprojekten im Alter von 28 Tagen).  
Zeichnungen: TFB

vernünftigen Betonqualität die effizienteste Massnahme zur Gewährleistung der erforderlichen Dauerhaftigkeit.

### Dichter Beton

Bezogen auf die Dauerhaftigkeit ist die Dichtigkeit bzw. die Permeabilität das wichtigste Qualitätsmass für einen Beton. Neben allfälligen Rissen bestimmt das Porensystem die Dichtigkeit. Je nach Herkunft, Form und Grösse wird zwischen Verdichtungs-, Kapillar- und Gelporen unterschieden. Die Porenradienverteilung sowie der Volumenanteil an Gel-, Kapillar- und Luftporen hängen vor allem vom Zementgehalt, vom w/z-Wert und vom Hydratationsgrad des Zements ab. Junge Betone sind poröser als ältere.

Die verschiedenen Poren stehen miteinander in Verbindung; sie bilden ein kommunizierendes System, das im Kontaktbereich zu den Zuschlag-

körnern besonders durchlässig ist. Für die Wasser- und Schadstoffaufnahme sind vor allem die Kapillarporen verantwortlich. Ein «dichter» Beton weist deshalb einen niedrigen Anteil an wasserfüllbaren Kapillarporen auf.

Neben den Kapillarporen bilden Risse schnelle und direkte Wege beim Eintrag von Schadstoffen. Die Beschränkung der Rissbreiten durch die Bewehrung und konstruktive Massnahmen ist deshalb wichtig. Allerdings reduziert sich die Gefährdung grösstenteils auf wasserführende Risse; trockene bzw. alternierend trockene und nasse Risse sind relativ harmlos.

### Erhöhung der Dichtigkeit

Während der Hydratation von Zementen wird Wasser (ungefähr 40 % der ursprünglichen Zementmasse) chemisch oder physikalisch gebunden. Betone mit einem w/z-Wert über 0,40 enthalten damit überschüssiges, freies Wasser, das, wenn es verdunstet, Porenräume bildet. Anders gesagt: Je höher der w/z-Wert ist, desto mehr Kapillarporen werden gebildet, die Wasser und damit auch Schadstoffe aufsaugen können. Ein tiefer w/z-Wert lässt sich mit Verflüssigern (BV und HBV) erreichen. Betone, deren Zuschläge möglichst dicht gepackt sind und einen möglichst grossen Grösstkorndurchmesser aufweisen (gute Sieblinie), benötigen weniger Zementleim; sie sind dadurch dichter.

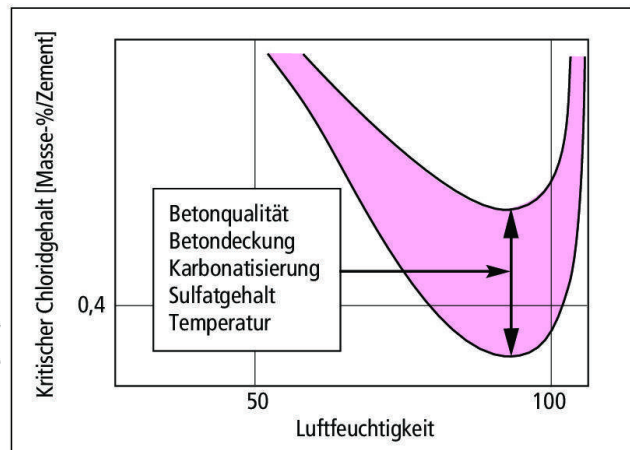


Abb. 2 Einflüsse auf den kritischen Chloridgehalt für die chloridinduzierte Korrosion (nach [3]).

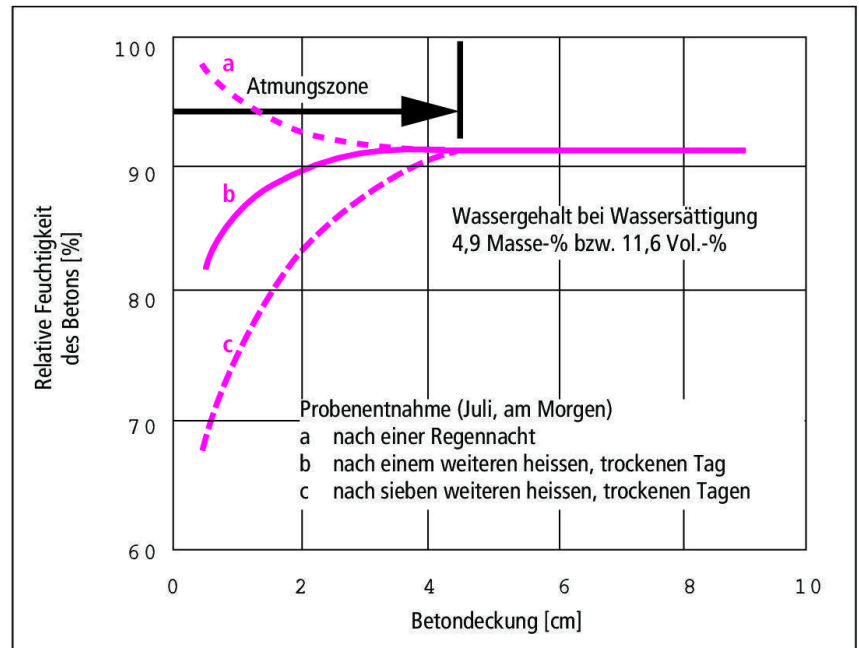
Latent hydraulische und puzzolani-  
sche Zusatzstoffe wie calciumreiche  
Flugaschen und Hüttensande bzw.  
Silikastäube wirken langfristig dichts-  
tend auf das Betongefüge, da ihre  
Reaktionsprodukte Porenräume fül-  
len.

In *Abbildung 1* sind Untersuchungen  
zum Einfluss der Bindemittelzusam-  
mensetzung und des Wasserbinde-  
mittelwerts ( $w/B$ ) auf die Chloridmi-  
grationskoeffizienten von Betonen  
zusammengefasst.

Die Verfeinerung der Porenstruktur  
des Zementsteins lässt sich auch  
durch eine grössere Mahlfeinheit des  
Zements erreichen.

*Chloridbindevermögen von Betonen*  
Korrosionsfördernd sind nur die frei-  
en Chloridionen. Zementstein kann  
gewisse Mengen an Chloridionen  
chemisch oder physikalisch binden.  
Da Chloridionen zudem weniger mo-  
bil als Wasser sind, bilden sich relativ  
schnell Gradienten aus. Bei wieder-  
holter Belastung erschöpft sich die  
Filterwirkung des Zementsteins; die  
Chloridfront dringt tiefer in den Be-  
ton ein.

Betone aus sulfatbeständigen Ze-  
menten mit einem niedrigen  $C_3A$ -  
Gehalt sowie aus hydraulischen Bin-  
demitteln, in denen CEM I teilweise  
durch Silikastaub ersetzt ist, binden  
vergleichsweise wenig, Betone aus



**Abb. 3 Einfluss der Umgebung auf den Wassergehalt einer Mole in Helgoland (ermittelt an Bohrkernen), nach [5].**

Zementen mit einem hohen Hütten-  
sandanteil relativ viele Chloridionen.  
Stark sulfatbelastete Betone weisen  
ebenfalls eine niedrige Chloridbinde-  
kapazität auf. Karbonatisierte Be-  
tone können Chloridionen kaum mehr  
binden.

#### *Kritischer Chloridgehalt*

Lochkorrosion der Bewehrung in  
Stahlbeton tritt erst auf, wenn der  
Chloridgehalt einen kritischen Wert  
überschritten hat. Zwar wird häufig  
von einem Grenzwert von 0,4 %  
Chloridionen (bezogen auf Zement-  
masse) ausgegangen [3], in Wirklich-  
keit hängt der Grenzwert aber von  
zahlreichen Parametern ab (*Abbil-  
dung 2*), beispielsweise

- Betonfeuchtigkeit
- pH-Wert des Porenwassers
- Massenverhältnis  $Cl^-/Na^+$
- Chloridionenbindefähigkeit  
des Zements

- Qualität und Dicke der Beton-  
deckung (Sauerstoffangebot)
- Gehalt des Zementsteins an an-  
deren korrosionsfördernden  
Stoffen wie beispielsweise  $SO_4^{2-}$ .

#### **Chlorideintrag in Betone**

Chloridionen gelangen – wie bereits  
erwähnt – vor allem durch kapillares  
Saugen und durch Diffusion in Be-  
tone. Meist unbedeutend sind Chlorid-  
ionen im Anmachwasser oder in Zu-  
schlagstoffen.

Bei relativ häufigen Trocken-/Feucht-  
zyklen, z. B. im Bereich von Spritz-  
wasser, findet in der Atmungszone  
des Betons (Teil des Deckbetons, der  
auf Veränderungen der Luftfeuchtig-  
keit reagiert, siehe *Abbildung 3*)  
sehr schnell eine Anreicherung von  
Chloridionen statt. Je grösser die At-  
mungszone ist, desto tiefer in den  
Beton hinein findet ein schneller

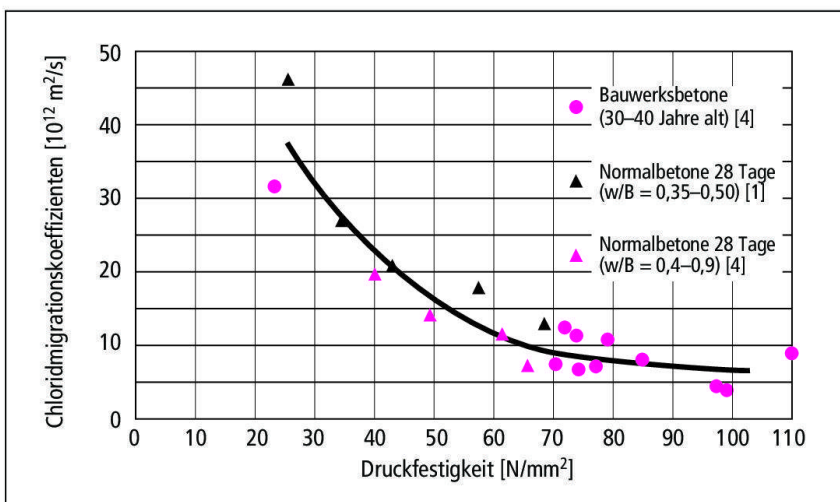


Abb. 4 Chloridmigrationskoeffizienten von Bauwerks- und Normalbetonen in Funktion der Druckfestigkeit.

Chloridtransport statt, der durch kapillares Saugen dominiert wird. Direkt an der Oberfläche können Chloridionen auch wieder ausgewaschen werden, während sie im Innern durch Diffusion in grössere Tiefen gelangen.

Wenn sich der Vorgang des Aufsaugens und Trocknens über die Jahre hinweg oft wiederholt, können teilweise sehr hohe Chloridgehalte in Betonen auftreten.

In der EN 206-1:2000 [6] wird dem grossen Einfluss der Beanspruchung bzw. der Umgebungsbedingungen auf den Eintrag von Chloridionen Rechnung getragen, indem so genannte Expositionsklassen definiert werden. Massgebend für die chloridinduzierte Korrosion ist die Klasse XD, die aufgrund der Umgebungsbedingungen (Feuchtigkeit) in die drei Unterklassen XD1, XD2 und XD3 unterteilt wird (Tabelle 2).

### Bestimmung des Chloridwiderstands

Zur Bestimmung des Chloridwiderstands wurden zahlreiche Laborverfahren entwickelt. Sie lassen sich in die folgenden Gruppen unterteilen:

- *Diffusionstests*, d.h. Bestimmung des Chloridionen-Diffusionskoeffizienten in Beton durch Analyse von Chloridprofilen oder der zeitlichen Änderung der Chloridkonzentration in Diffusionszellen
- *Migrationstests*, d.h. durch Anlegen einer elektrischen Spannung beschleunigte Diffusionstests; Resultat: Migrationskoeffizient der Chloridionen im Beton (CTH- oder ibac-Test [7])
- Messung der *elektrischen Leitfähigkeit* an mit konzentrierter Natriumchloridlösung gesättigten Proben (Streicher-Verfahren [8])
- Messung des Ionenflusses nach ASTM C 1202-94 [10].

- Auslagerung von Proben in bzw. Beaufschlagen von Proben mit chloridhaltigem Wasser (Vergleich der Chloridprofile im Beton): Ponding Test [9].

Bei den einfachen Diffusionstests trennt der Probekörper eine chloridhaltige von einer chloridfreien Lösung. Der Diffusionskoeffizient  $D_{Cl}$  wird entweder aus der Eindringtiefe der Chloridionen in den Prüfkörper oder aus der zeitliche Veränderung der Konzentration an Chloridionen in der ursprünglich chloridfreien Lösung ermittelt.

Durch das Anlegen einer Gleichspannung an Diffusionszellen wird die Wanderung der Ionen um das Hundertfache und mehr beschleunigt. Auf die eigentliche Diffusion der Chlorid- und weiteren Ionen hat das elektrische Feld aber keinen Einfluss; gemessen werden Migrations- und nicht Diffusionskoeffizienten.

Beim so genannten ibac-Test [7] wird die Eindringtiefe von Chloridionen in wassergesättigte Probekörper ( $\varnothing = 50$  mm,  $h = 50$  mm) aus einer 3%igen Natriumchloridlösung gemessen. Zur Beschleunigung der Chlorideinwanderung wird während  $\frac{1}{2}$  bis 7 Tagen eine Spannung von 30–40 Volt angelegt.

### Korrektur

Im «Cementbulletin» vom Oktober dieses Jahres sollte es auf Seite 3 (mittlere Spalte) heissen:

● CEM III B und CEM III C.

Bitte entschuldigen Sie diesen Fehler.

Kurt Hermann

### Betone mit hohem Chloridwiderstand

Der Chloridwiderstand von Betonen kann durch die Reduktion des w/z-Werts, durch die Zugabe von Silikastaub (auch bei Dosierungen von nur 7 Masse-%, bezogen auf die Zementmasse) und durch die Zugabe von Flugasche (30 Masse-%) verbessert werden [1].

Untersuchungen in der TFB [1] und von Mackechnie [4] zeigen, dass ein recht guter Zusammenhang zwi-

## LITERATUR

Der vorliegende Artikel basiert grösstenteils auf Manuskripten zur folgenden TFB-Publikation:

[1] Fritz Hunkeler, Christine Merz und Heidi Ungricht, «Vergleichende Untersuchungen zum Chloridwiderstand von Betonen».

Diese Publikation wird voraussichtlich in diesem Jahr als VSS-Bericht erscheinen.

Auf die folgenden Publikationen wird im Text speziell hingewiesen;

[2] «Substanzerhaltung der Nationalstrassenwerke», Schlussbericht der Arbeitsgruppe, Bundesamt für Strassen, Bern (1998).

[3] Hunkeler, F., «Grundlagen der Korrosion und der Potentialmessung bei Stahlbetonbauten», VSS-Bericht Nr. 510 (1994).

[4] Mackechnie, J. R., and Alexander, M. G., «Rapid chlorid test comparisons», Concrete International 22 [5], 40–45 (2000).

Expositions- klasse	Umgebung	Migrations- koeffizient
XD1	mässig feuchte Umgebung, z. B. chloridhaltige Sprühnebel	20 $10^{-12}$ m <sup>2</sup> /s
XD2	nasse, selten trockene Umgebung (Schwimmbäder; chloridhaltige, Industrieabwässer)	15 $10^{-12}$ m <sup>2</sup> /s
XD3	wechselnd nasse und trockene Umgebung (Brückenteile, die chloridhaltigem Spritzwasser ausgesetzt sind; Fahrbahndecken, Parkdecks)	10 $10^{-12}$ m <sup>2</sup> /s

Tab. 2 Mindestanforderungen an Betone für die Expositionsklasse XD (Korrosion ausgelöst durch Chloride) im Nationalen Vorwort zur EN 206-1 [6].

schen dem Chloridmigrationskoeffizienten nach ibac [7] und der Druckfestigkeit besteht (Abbildung 4).

Als Verfahren zur Bestimmung des Chloridwiderstands im Labor eignet sich der ibac- bzw. CTH-Test. Für die Expositionsklasse XD (Korrosion ausgelöst durch Chloride) werden in der Schweiz im Nationalen Vorwort zur Norm EN 206-1 für die Unterklassen XD1 bis XD3 die in Tabelle 2 aufgeführten Migrationskoeffizienten (ermittelt mit dem ibac-Verfahren) vorgeschlagen. Diese Minimalanforderungen haben vorläufigen Charakter und müssen noch durch weitere Untersuchungen an Labor- und Bauwerksbetonen sowie durch Langzeitversuche gesichert werden.

Christine Merz  
und Heidi Ungricht, TFB

### Schlüsselwörter

Chloriddiffusion, Chloridmigration, Chloridionen, Chloridwiderstand, ibac-Verfahren, Null-Unterhaltsverfahren.