

Vorbeugung gegen Angriff von Meerwasser auf Beton

Autor(en): [s.n.]

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Cementbulletin**

Band (Jahr): **58-59 (1990-1991)**

Heft 1

PDF erstellt am: **11.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-153740>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

CEMENTBULLETIN

JANUAR 1990

JAHRGANG 58

NUMMER 1

Vorbeugung gegen Angriff von Meerwasser auf Beton

Wichtigste Einflussgrössen. Vorbeugende Massnahmen beim Baustoff Beton.

Beton hat sich als Baustoff für Meerwasserbauten im allgemeinen bewährt. Er wird für grösste Bauwerke verwendet wie Hafengebäude, Uferschutz, Bohrinseln, Brücken usw. Entsprechend intensiv sind die Beobachtungen der Dauerhaftigkeit. Im folgenden werden Regeln besprochen, die sich daraus ergaben. Wenn auch in der Schweiz keine Bauten im Meerwasser erstellt werden, so gibt es doch Fälle, in denen Beton mit Wasser in Berührung kommt, das nicht der Trinkwasserqualität entspricht. Man fordert dann vom Beton eine Beständigkeit gegen chemischen Angriff, der allerdings nicht zum vornherein bekannt ist. Um vorbeugende Massnahmen treffen zu können, müssen deshalb zuerst die möglichen Einflussgrössen ermittelt und näher umschrieben werden. Bei solchen Problemen ist es charakteristisch, dass auch die Betonqualität einen Einfluss auf den chemischen Angriff hat, wie sich am Beispiel des Meerwassers aufzeigen lässt.

Aufgrund von Langzeitstudien an Meerwasserbauten der letzten 70 Jahre veröffentlichte das Technische Komitee 32-RCA des RILEM vor einiger Zeit den Stand der Kenntnisse zur Herstellung von dauerhaftem Beton. Berücksichtigt wird der Meerwasserangriff, ergänzt durch den heutigen Wissensstand über das Eindringen von Natriumchlorid. Andere spezielle Einwirkungen wie Fischfett, Öl, Enteisungsmittel usw., wie sie bei gewissen Hafengebäuden vorkommen, sind nicht ausgewertet. Rilem ist die Internationale Vereinigung der Versuchs- und Forschungslaboratorien für Materialien und Konstruktionen.

2 Der Angriff durch Meerwasser

1. Aggressive Ionen des Meerwassers. Das Wasser aller offenen Meere hat eine chemische Zusammensetzung, die üblicherweise in relativ engen Bereichen schwankt (vgl. Tab. 1). Die pH-Werte liegen bei etwa 8. Im allgemeinen beruhen die Erfahrungen mit Meerwasser auf derartigem Wasser. Bei Salzkonzentrationen, die viel höher oder viel niedriger sind (z.B. im Toten Meer bzw. im Mündungsgebiet von Fließgewässern) können allerdings andere Reaktionen auftreten, als die nachfolgend beschriebenen.

Chlorid-Ionen können in den Beton eindringen und die Korrosion der Bewehrung beschleunigen. Mit dem Zementstein reagieren sie im allgemeinen selbst bei hohem Cl-Anteil des Meerwassers nur schwach und sind hier nicht primäre Ursache einer Gefährdung.

Sulfat-Ionen greifen bekanntlich den Zementstein an. Trotz der hohen SO_4^{--} -Konzentration ist aber ihre Auswirkung wegen der sehr hohen Cl^- -Konzentration im Meerwasser nur schwach oder mässig.

Magnesium-Ionen verursachen eine Schwächung des Zementsteins durch Ionenaustausch $\text{Ca}^{++} \rightleftharpoons \text{Mg}^{++}$.

Natrium- und Kalium-Ionen können mit dem Zuschlag reagieren (sogenannte Alkali-Aggregat-Reaktion), sofern nicht inerte Zuschläge verwendet werden.

2. Temperatur des Meerwassers. Bei niederen Temperaturen wird der Sulfatangriff verstärkt. Bei höheren Temperaturen nimmt er leicht ab, während die Intensität aller anderen Angriffe steigt. Im Ganzen gesehen ist der Meerwasserangriff auf Stahlbeton in den wärmeren Klimazonen viel stärker.

3. Beanspruchte Bauteile. Meerwasser hat auf Beton oder Bauteile, die voll unter Wasser liegen, nur eine schwache Einwirkung. Leicht angegriffen werden kann auch jener Beton, der nicht in direktem Kontakt mit Meerwasser steht, aber ab und zu dem Sprühnebel ausgesetzt ist. Am stärksten hingegen sind Beton und Bewehrung jener Bauteile angegriffen, die im Wechselbereich von Ebbe und Flut und in den Spritzwasserzonen liegen.

4. Klimatische Bedingungen während der Herstellung. Ausser Qualität und Zusammensetzung des Frischbetons haben auch die klimatischen Bedingungen während der Herstellung des Bauwerks einen grossen Einfluss auf sein Langzeitverhalten. Zu beachten ist die ganze Zeitspanne zwischen dem Betonieren und dem erstmaligen Fluten der Bauteile. Die wichtigsten Einflussgrössen sind Tem-

3 Tabelle 1 Meerwasser: Gehalt an angreifenden Ionen, in g/l

	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
Nordatlantik	17,8	2,5	0,4	1,5	11,0	0,3
Südatlantik	20,5	2,9	0,4	1,3	11,4	0,5
Weltmeere (Durchschnitt)	19,8	2,7	0,4	1,3	10,9	0,4

peratur und relative Luftfeuchtigkeit während des Einbringens, Verdichtens und Nachbehandelns.

Bei heissem Wetter besteht vor allem die Gefahr, dass der Beton schon früh sehr viel Wasser verliert. Bei tieferen Temperaturen (bis gegen 5 °C) verläuft dieser Vorgang zwar nicht so rasch, doch das Wasser hat mehr Zeit zu verdunsten, weil der Zement bei tiefen Temperaturen nur noch langsam hydratisiert. In beiden Fällen wirkt sich deshalb eine ungenügende Nachbehandlung entschieden nachteilig auf Durchlässigkeit, Festigkeit und Dauerhaftigkeit aus, und zwar während der ganzen Lebensdauer des Betons.

5. Andere äussere Einflussgrössen. Andere mögliche Angriffe sind Frost in Kältezonen, mechanische Einwirkungen von Wellen (Kavitation oder Abrieb) und Angriff durch Lebewesen. Meist führen sie zu einer Zerstörung von der Oberfläche her.

6. Planung und Ausführung. Die Dauerhaftigkeit jedes Betonwerks in Meerwasser hängt von den Anforderungen an die Betonqualität und von der Bauausführung ab. Hohe Qualität heisst niedrige Porosität und geringe Wasserleitfähigkeit. Zu einer sorgfältigen Facharbeit gehört, dass die Bewehrung vollständig umhüllt und genügend überdeckt wird. Ausser von den Anforderungen, die man an die Zusammensetzung, Verarbeitung und Nachbehandlung stellt, ist die Dauerhaftigkeit auch dadurch bestimmt, wie diese Anforderungen auf der Baustelle eingehalten werden, bevor man den Beton dem Meerwasser aussetzt.

7. Betonzusammensetzung. Jede einzelne Komponente des Stahlbetons kann schadhaft werden, wenn bei Meerwasserbauten bestimmte Regeln nicht eingehalten werden:

Der *Zementstein* kann durch chemische Reaktion mit den Salzen des Meerwassers angegriffen werden, wenn sein CaO/SiO₂-Verhältnis und sein C₃A-Gehalt zu hoch sind.

Die *Bewehrung* kann im Zementstein selbst bei pH > 12 korrodieren, wenn ihre Überdeckung nicht genügend Schutz gegen das Eindringen von Chloriden und Sauerstoff bietet. Für diesen Schutz sind ein

4 ausreichender Gehalt an C_3A oder anderen Aluminaten und aktive Kieselsäureverbindungen im Zementstein von Vorteil.

Wenn der Zementstein nicht genügend Schutz gegen das Eindringen von $NaCl$ und gegen Alkalireaktionen bietet, können im *Zuschlag gewisse Gesteine* infolge Eindringen von Na^+ -Ionen quellen und dadurch Schäden verursachen, insbesondere dort, wo der Beton abwechselungsweise nass und trocken wird. Geeignete reaktionsfähige Kieselsäureverbindungen im Zementstein können diese Art von Angriff verhindern.

Der Widerstand gegen all diese möglichen Zerstörungsformen wird deutlich verbessert, indem man den Wasser-/Zementwert herabsetzt und mit einem genügend hohen Zementgehalt arbeitet.

Vorbeugende Massnahmen

1. Allgemeine Regeln. Besonders gefährdet sind die Betonteile im Bereich von Ebbe und Flut bzw. von Spritzwasser. Die Betonqualität muss in diesen Bereichen auf genügenden Schutz gegen die Korrosion des Betons und dessen Bewehrung bemessen werden. Beton dieser Qualität ist unterhalb des Niederwasserspiegels üblicherweise nicht gefährdet.

Scharfe Ecken und Kanten sind Schwachstellen und deshalb bei der konstruktiven Durchbildung des Bauwerks zu vermeiden.

Es muss unbedingt darauf geachtet werden, dass die geforderte Betonqualität erreicht ist, bevor der Beton dem Meerwasser ausgesetzt wird. Bei Verwendung von Portlandzement (PC) soll – nach einer angemessenen Nachbehandlung – so lange wie möglich mit Fluten gewartet werden. Ein Beton, bei dem Hochofenzement mit mehr als 65% Hüttensand oder Puzzolanzement verwendet wird, soll dagegen möglichst bald dem Meerwasser ausgesetzt werden. Risse, die sich während der Nachbehandlung bilden, sollen alle noch vor dem Fluten geschlossen werden.

In kälteren Klimazonen muss der Beton auch frostbeständig sein. In wärmeren Klimazonen mit höherer Chloriddiffusion muss der Beton mehr Schutz gegen den rascheren Chloridangriff und gegen die Korrosion der Bewehrung bieten.

2. Angaben zur Betonmischung. Der Zementgehalt ist von der Kornabstufung abhängig und soll mindestens 350 kg/m^3 betragen. Der Wasser-/Zementwert soll möglichst unter 0,50, vorzugsweise aber unter 0,45 liegen. Der Mehlkorngesamtgehalt (Zement und Sandanteil $< 0,125 \text{ mm}$) soll 450 kg/m^3 nicht übersteigen.

5 3. Zuschläge. Die Zuschlagstoffe sollten eine gute Sieblinie aufweisen (vgl. nationale Normen). Sie müssen beständig sein gegen starke Chloridlösungen und gegen Alkali-Aggregat-Reaktion. In kälteren Zonen müssen auch sie frostbeständig sein. Können alkaliempfindliche Zuschläge nicht vermieden werden, sind besondere Massnahmen erforderlich.¹

4. Betondeckung der Bewehrung. In üblichen Klimazonen darf die Betondeckung an keiner Stelle der Bewehrung weniger als 40 mm betragen. Wegen unvermeidlicher Ungenauigkeiten beim Verlegen heisst das im allgemeinen, dass sie mindestens 45 ± 5 mm betragen muss.

In wärmeren Klimazonen muss man manchmal noch stärkere Betondeckungen vorschreiben. Hat ein Beton von hoher Qualität einen deutlich hohen Widerstand gegen die Chloriddiffusion, so kann man die Betondeckung allenfalls reduzieren.

5. Zemente. Werden Punkt 1.–4. beachtet, so sind bei Meerwasserbauten grundsätzlich alle Zemente geeignet, sofern sie 28-Tage-Festigkeiten von $> 35 \text{ N/mm}^2$ aufweisen (Messung gemäss ISO).² Es hat sich herausgestellt, dass gewisse Zemente besser geeignet sind als andere.³

Zemente mit niedriger Frühfestigkeit⁴ müssen während der Erhärtung länger gegen Austrocknen geschützt werden als solche mit hoher Frühfestigkeit.

6. Anmachwasser. Meerwasser darf wegen seines Chloridgehaltes nicht als Anmachwasser für Bauten in Stahlbeton verwendet werden. Im übrigen sind die nationalen Normen zu beachten, die meist den Gehalt an Chlorid- und Sulfationen begrenzen.⁵

¹ z. B. Begrenzung des Gesamtalkaligehalts im Beton. Man muss dabei Vorversuche durchführen und soll auch die langzeitige Erfahrung im Anwendungsgebiet berücksichtigen.

² Gemäss den europäischen Normvorschlägen für Zement (ENV 197), die zurzeit in Bearbeitung sind, werden Festigkeitsklassen von 32,5 und 42,5 N/mm² vorgesehen, die beide für Meerwasserbauten geeignet sind.

³ In gewissen Ländern bestehen nationale Vorschriften für Zemente in Meerwasserbauten. Eine Verwendung von sulfatbeständigem Zement (PCHS) ist nicht erforderlich.

⁴ z. B. Hochofenzemente HOZ oder Puzzolanzemente.

⁵ Der Grund liegt im Chloridgehalt des Meerwassers. Beachte: Anmachwasser setzt sich zusammen aus dem Zugabewasser und der Eigenfeuchte des Zuschlags. Die Eigenfeuchte des Zuschlags, wie sie etwa infolge Waschens vorhanden ist, darf also auch nicht chloridhaltig sein. Ferner kann selbst ein getrockneter Zuschlag noch chloridhaltig sein, sofern er nicht zuvor mit sauberem Wasser gewaschen wurde.

6 7. Zusatzstoffe. Durch Zugabe von latent-hydraulischen Stoffen wie Puzzolane, Hüttensande, Kieselgur, Silikafume, Flugasche usw. kann die Dichtigkeit erhöht und der Anteil an freiem Kalk im Zementstein reduziert werden. Dadurch entstehen mehr kieselsäurehaltige Verbindungen. Solche Zusatzstoffe vermindern oft das Risiko einer Alkalireaktion und/oder der Chloriddiffusion. Da eine Überdosierung die Betoneigenschaften stark verändern und dadurch nachteilige Auswirkungen haben kann, müssen unbedingt Vorversuche durchgeführt werden.

8. Zusatzmittel. Übliche Betonzusatzmittel können in Übereinstimmung mit den nationalen Normen verwendet werden. Gemäss diesen Normen oder Empfehlungen muss ihre Anwendbarkeit immer durch Vorversuche abgeklärt werden. Wichtig ist, dass man dazu das vorgesehene Material der betreffenden Baustelle verwendet.

9. Massnahmen in Spezialfällen. Wenn sich reaktionsfähige Zuschläge nicht vermeiden lassen, müssen die nationalen Empfehlungen zur Verhütung der Alkalireaktion befolgt werden. Zusätzlich müssen die Massnahmen zum Schutz gegen Chloriddiffusion getroffen werden. – Bei hoher Frostgefahr sollte nicht nur der W/Z-Wert begrenzt, sondern auch Luftporenbeton verwendet werden, falls dies angemessen ist.

10. Schutz gegen Chloriddiffusion. Wird ein deutlich höherer Widerstand gegen Chloriddiffusion und Stahlkorrosion gefordert, ist dichter Beton mit Zusätzen gemäss 7. oder die Verwendung von Mehrkomponenten-Zementen (Mischzementen) von Vorteil, die ihrerseits ausreichende Anteile an kieselsäurehaltigen Bestandteilen beisteuern (z.B. Hochofenzemente mit > 60% Hüttensand oder Puzzolanzemente). Durch sorgfältige Auswahl der Zusatzmittel und/oder Zusatzstoffe, mit einem niedrigen W/Z-Wert und durch einwandfreie Verarbeitung kann man Betone herstellen, die für die Chloride und Alkalien des Meerwassers praktisch undurchlässig sind.

Quelle: Übersetzung des Berichts «Seawater Attack on Concrete and Precautionary Measures» aus der Zeitschrift «Matériaux et Constructions». Vol. 18 (1985), Nr. 105, p. 223–226 (mit 35 Literaturangaben).

Anmerkungen: durch die TFB

TFB

Zu jeder weiteren Auskunft steht zur Verfügung die
TECHNISCHE FORSCHUNGS- UND BERATUNGSSTELLE
DER SCHWEIZERISCHEN ZEMENTINDUSTRIE
Postfach
Lindenstrasse 10 5103 Wildegg Telefon 064 53 17 71
Telefax 064 53 16 27