

Aufsaugversuche an Betonproben mit Wasser und Kochsalzlösungen

Autor(en): **Tiniç, Can / Burkhard, Andreas**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **99 (1981)**

Heft 17

PDF erstellt am: **22.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-74477>

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.

Aufsaugversuche an Betonproben mit Wasser und Kochsalzlösungen

Von Can Tiniç und Andreas Burkhard, Zürich

Einleitung

Zur Vermeidung der Glatteisgefahr auf Strassen wird schon seit Jahren *Salz gestreut*. Abgesehen von den nachteiligen Auswirkungen auf die Vegetation und von Korrosionsschäden an Fahrzeugen entstehen durch die Verwendung von Tausalzen beträchtliche *Schäden an Betonbauwerken*. Beton, der gegen die Wirkung von Frost beständig ist, kann unter Umständen bei der kombinierten Einwirkung von Frost und Tausalzen starke Schäden erleiden, die sich in Abplatzungen der Betonoberfläche, teilweise bis zur Tiefe der Armierung, zeigen können. Trotz ausgedehnter Forschung in Theorie und Praxis sind noch nicht alle Mechanismen bekannt, welche diese Schäden bewirken. Damit in einem porösen Material überhaupt Frostschäden entstehen können, muss der *Wassergehalt* des betreffenden Materials einen bestimmten, materialspezifischen Wert übersteigen, der als der *kritische Sättigungsgrad* bezeichnet wird. Ein Beton kann somit nur dann Frostschäden erleiden, wenn sein Wassergehalt den Wert des kritischen Sättigungsgrades *übersteigt*. Damit wird der tatsächliche Wassergehalt eines Betons zu einer wichtigen Grösse, die abschätzen lässt, ob ein bestimmter Betonteil durch Frost gefährdet ist oder nicht.

Die *theoretischen Grundlagen* für die Vorgänge, die bei der Wasseraufnahme von Baustoffen ablaufen, sind ausführlich bei *Klopfer* [1] beschrieben. *Messungen* an Beton und verschiedenen anderen Baustoffen wurden u. a. von *Haller* [2], *Cammerer* [3], *Schwarz* [4], *Collepari et al.* [5] und *Wenger* [6] durchgeführt. Die nachstehend beschriebenen Untersuchungen hatten zum Ziel, den zeitlichen Verlauf der Aufnahme von Wasser und Kochsalzlösungen verschiedener Konzentration über einen längeren Zeitraum zu verfolgen, wobei die Probekörper Ausschnitte aus einer unendlich grossen Betonplatte darstellen sollten, die an ihrer Oberfläche gleichmässig Wasser aufsaugt. Zu diesem Zweck wurden die Probekörper an den Aussenflächen abgedichtet, damit der Wassertransport vorwiegend in der Vertikalrichtung erfolgte und keine Flüssigkeit durch Verdunstung verloren gehen konnte. Der Aufsaugvorgang wurde bei diesen Versuchen über die

unveränderte Betonoberfläche durchgeführt. Dadurch wurde bewusst der inhomogene Aufbau der obersten Betonschichten (*Segregation*) mitberücksichtigt, der einen grossen Einfluss auf die Eigenschaften der Betonoberfläche und damit z. B. auch auf die Frost-Tausalz-Beständigkeit ausübt.

Durchführung der Versuche

Der Beton wurde in der EMPA Dübendorf als *Standardbeton in Würfel*form hergestellt. Pro Würfel wurde je ein Probekörper (Bohrkern oder Prisma) im Alter von 4 bis 7 Tagen entnommen. Abgesehen von der in den Versuchen als Saugfläche verwendeten Betonoberfläche wurden Mantel- und Bodenflächen der Probekörper mit einem Grundierungsmittel und darüber einem Epoxidharz abgedichtet und die Probekörper anschliessend während 1 Monat bei 20 °C und 90% r. F., daraufhin während 4 Monaten (Proben mit W/Z = 0,4 und 0,6) bzw. 6 Monaten (Proben mit W/Z

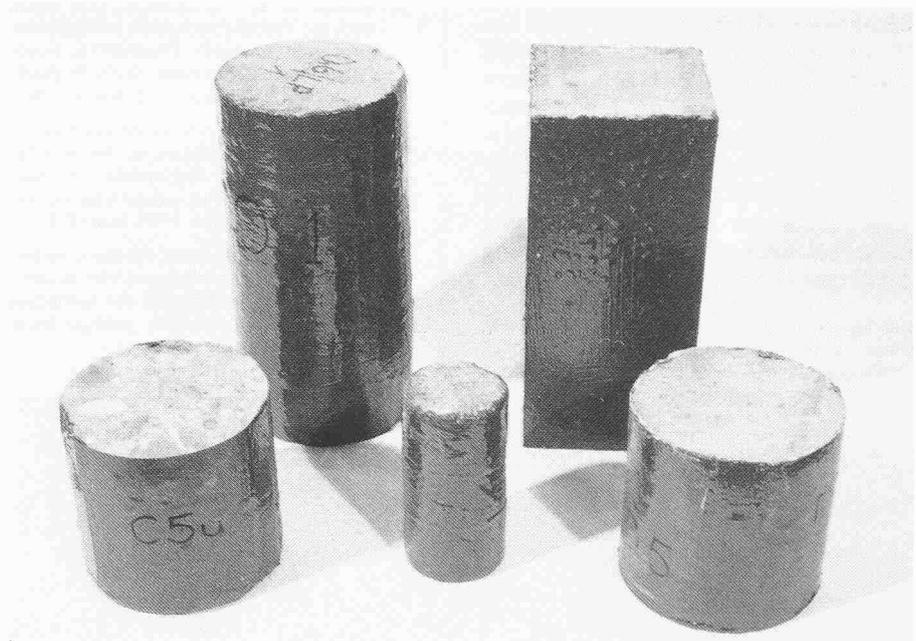


Bild 1a. Geometrie der für die Versuche verwendeten Probekörper

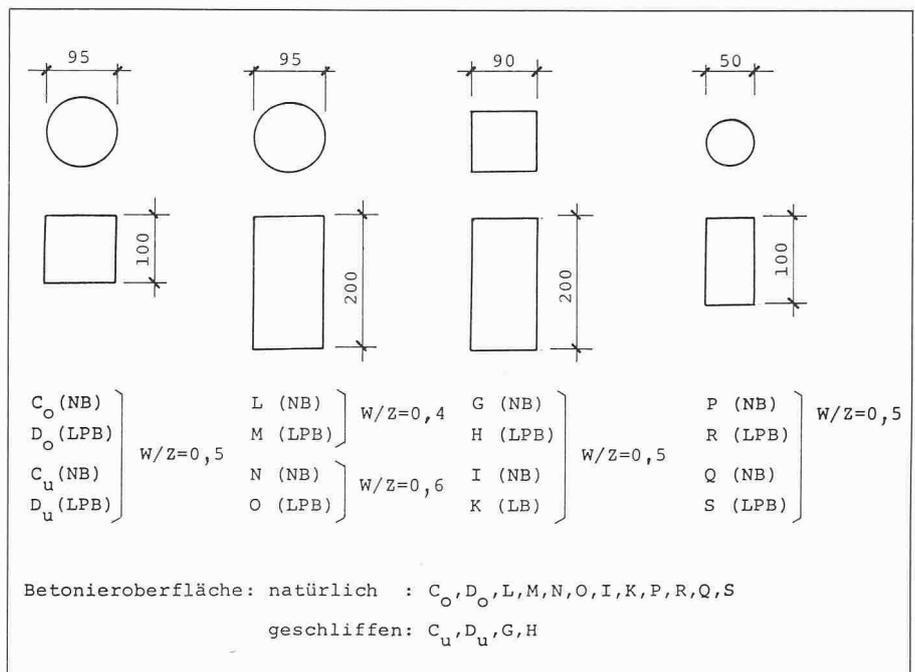


Bild 1b. Abmessungen der verwendeten Probekörper

= 0,5) bei 20 °C und 50% r. F. gelagert. Aus versuchstechnischen Gründen war es nicht möglich, alle Prüfkörper zum gleichen Zeitpunkt herzustellen.

Um den Einfluss der *Betonsorte* (Luftporenbeton bzw. Nullbeton mit verschiedenen W/Z-Werten), der *Proben-geometrie* (Höhe, Saugfläche) und der *Oberflächenbeschaffenheit* feststellen zu können, wurden zylindrische und prismatische Körper mit verschiedenen Verhältnissen von Höhe zu Durchmesser und mit natürlichen und geschliffenen Saugflächen (vgl. Bild 1a, 1b) je aus Luftporen- und Nullbeton mit drei verschiedenen W/Z-Werten (0,4; 0,5; 0,6) hergestellt. Die Einzelheiten der verwendeten Betonsorten gehen aus Tab. 1 hervor. Die Körper wurden mit der Saugfläche nach unten etwa 10 cm tief in die entsprechenden Lösungen eingetaucht.

Tabelle 1. Betondaten. EMPA-Standardbeton, Zementgehalt 300 kg/m³

	Rohdichte [kg/m ³]	Luftporengehalt im Frischbeton
W/Z = 0,4		
Nullbeton	2510	1,6%
Luftporenbeton	2435	3,3%
W/Z = 0,5		
Nullbeton	2457	1,7%
Luftporenbeton	2374	4,1%
W/Z = 0,6		
Nullbeton	2455	1,5%
Luftporenbeton	2324	7,0%

Bestimmung der Massenzunahmen

Bei den Versuchen wurden drei verschiedene NaCl-Lösungen (1%, 3%, 10%) sowie destilliertes Wasser verwendet. Für die Messung der Massenzunahme bei den Aufsaugversuchen stand eine *Digitalwaage* (Genauigkeit 0,1 g) zur Verfügung. Zur Wägung mussten die Prüfkörper für kurze Zeit aus der Flüssigkeit herausgenommen und mit einem Schwamm abgetupft werden.

Bestimmung der Steighöhen

Um die *Wasser- bzw. Chloridionensteighöhen* und deren Gesetzmässigkeiten bestimmen zu können, wurden *zusätzliche Versuche* mit einer Serie von zylindrischen Probekörpern je aus Luftporen- und Nullbeton sowohl in destilliertem Wasser als auch in 10% NaCl-Lösung durchgeführt. In verschiedenen Zeitintervallen wurden Prüfkörper aus dem Bad herausgenommen und *in ihrer Längsrichtung* (entlang von Mantellinien) *halbiert*. Unmittelbar danach wurden die entsprechenden mittleren Steighöhen für Wasser und für Chloridionen gemessen. Die Eindringtiefe des *Wassers* war an einer *Dunkelfärbung des Zementsteins* abschätzbar. Um die Steig-

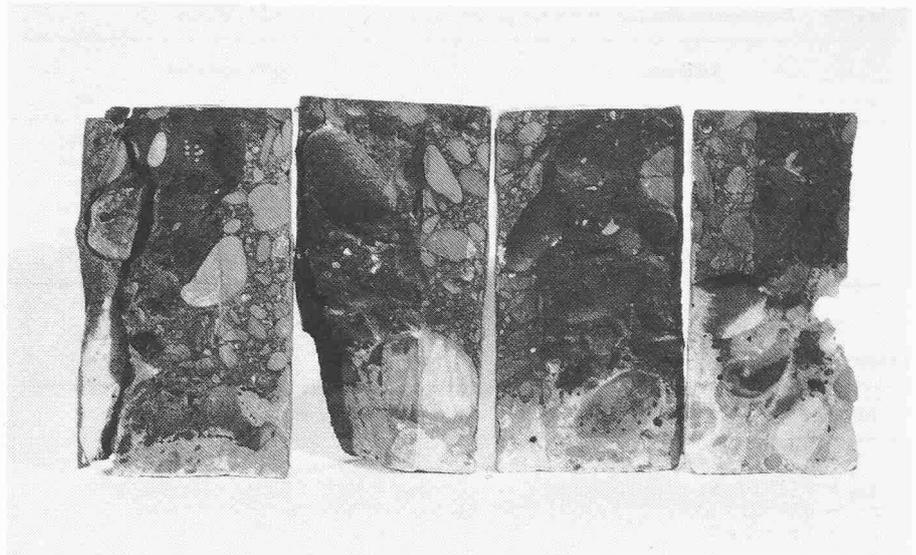


Bild 2. Für die Bestimmung der Salzsteighöhe halbierte Probekörper.

Durch das Nachweisverfahren nach Collepardi et al. [5] wurde der chloridfreie Beton schwarz eingefärbt. Als Steighöhen wurden die mittleren Höhen der hellen, chloridhaltigen Flächen gemessen.

höhe der *Chloridionen* messen zu können, musste die salzhaltige Zone zuerst durch die von Collepardi et al. [5] angegebene *Farbreaktion* sichtbar gemacht werden (Bild 2).

Wegen der ungleichmässigen Verteilung der Zuschlagkörner zeigten die *Steighöhen* im Innern eines Körpers oft deutliche Unterschiede und mussten deshalb *gemittelt* werden.

Resultate

Bestimmung der Massenzunahmen

Damit die Resultate der Körper mit verschieden grosser Aufsaugfläche verglichen werden konnten, wurde die Massenzunahme jeweils auf die vorhandene Aufsaugfläche bezogen. Alle Versuchsserien zeigten übereinstimmend, dass sich die Massenzunahme in Funktion der Zeit im doppelt logarithmischen Massstab über einen Zeitraum von mindestens 3 Monaten durch eine Gerade $\log w = \log w_0 + q \cdot \log t$ annähern lässt.

Im folgenden werden die wichtigsten Resultate kurz zusammengefasst:

Einfluss der Salzkonzentration der verwendeten Lösungen

Bei Probekörpern mit gleichem W/Z-Faktor (0,4; 0,5; 0,6) und gleicher Betonsorte (Luftporen- bzw. Nullbeton) konnten innerhalb der Messgenauigkeit *nur unbedeutende Unterschiede* in den Massenzunahmen zwischen den verwendeten Lösungen (1%, 3%, 10% NaCl bzw. reines H₂O) gefunden werden. Zur statistischen Überprüfung dieses Befundes wurden jeweils die einzelnen Regressionsgeraden $\log w = \log w_0$

+ $q \cdot \log t$ der Massenzunahmen in den verschiedenen Lösungen berechnet, anschliessend deren Achsenabschnitte w_0 und Steigungen q in Funktion der entsprechenden Salzkonzentration aufgetragen und daraus Regressionsgeraden mit den Steigungen q_{w_0} bzw. q_q ermittelt. Die erhaltenen Werte von q_{w_0} und q_q (Tab. 2) liegen nahe bei Null und sind gemäss t-Test nicht signifikant von Null verschieden, einzig gegen die Hypothese $q_q = 0$ bei Luftporenbeton besteht eine statistische Signifikanz auf dem Niveau 5%. Dieses Resultat zeigt, dass in den beschriebenen Experimenten kein oder nur ein schwacher Einfluss der Salzkonzentration gefunden werden konnte. Aus diesem Grund wurde bei den folgenden Ergebnissen auf eine getrennte Darstellung der Werte in den Lösungen mit unterschiedlichem Salzgehalt verzichtet und jeweils die *Mittelwerte* der Massenzunahmen in allen vier Lösungen angegeben.

Unterschied zwischen Luftporen- und Nullbeton

Probekörper aus Luftporenbeton (W/Z = 0,4; 0,5 bzw. 0,6) nahmen innerhalb der ersten Stunde nach dem Eintauchen eine grössere Flüssigkeitsmenge auf als die entsprechenden Probekörper aus Nullbeton (Bild 3). Die weitere Massenzunahme erfolgte dagegen *bei Luftporenbeton etwas langsamer* als bei Normalbeton, so dass vermutet werden kann, dass sich die Kurven nach einer Versuchsdauer von mehreren Monaten schneiden werden.

Einfluss des W/Z-Faktors

Der W/Z-Faktor der verwendeten Betonsorte zeigte *grossen Einfluss* auf das Aufsaugvermögen. Die von den Probekörpern innerhalb der ersten Stunde

Tabelle 2a. Zusammenstellung der Werte von q_{w0} und q_q für Luftporen- und Nullbeton

Nullbeton			Luftporenbeton		
Mess-Serie	q_{w0}	q_q	Mess-Serie	q_{w0}	q_q
C ₀	0,07	0,000	C _u	-0,04	-0,001
D ₀	-0,14	0,000	D _u	-0,03	-0,002
G	0,31	-0,006	H	0,08	-0,002
I	0,36	0,000	K	0,32	-0,000
L	0,05	-0,005	M	0,09	-0,005
N	0,11	0,001	O	0,15	-0,002

Tabelle 2b. Statistische Überprüfung mit t-Test

Nullbeton	Luftporenbeton
<p>t-Test für q_{w0}</p> <p>$\bar{q}_{w0} = 0,127 \pm 0,189$</p> <p>$s^2 = 0,035721$</p> <p>$t = 1,65 < 2,447$</p>	<p>t-Test für q_{w0}</p> <p>$\bar{q}_{w0} = 0,095 \pm 0,132$</p> <p>$s^2 = 0,017535$</p> <p>$t = 1,76 < 2,447$</p>
<p>t-Test für q_q</p> <p>$\bar{q}_q = -0,0017 \pm 0,00301$</p> <p>$s^2 = 0,000009068$</p> <p>$t = 1,38 < 2,447$</p>	<p>t-Test für q_q</p> <p>$\bar{q}_q = 0,0020 \pm 0,00141$</p> <p>$s^2 = 0,000002$</p> <p>$t = 3,46 > 2,447$</p> <p>(Signifikanz auf dem Niveau 5%)</p>
$t = \frac{\bar{q}}{\sqrt{\frac{s^2}{n}}}$	<p>\bar{q} = Mittelwert</p> <p>s^2 = Varianz</p>

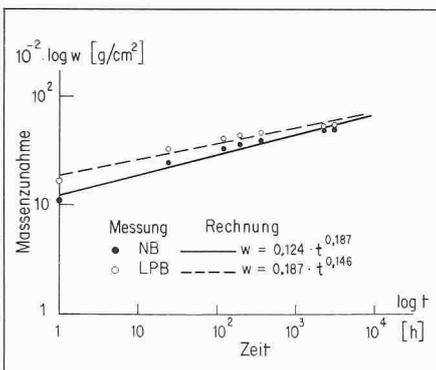


Bild 3. Zeitlicher Verlauf der Massenzunahme bei Luftporen- und Nullbeton mit $W/Z = 0,5$.

Die eingezeichneten Punkte wurden bestimmt an Körpern mit natürlicher Betonoberfläche und einem Verhältnis Höhe zu Durchmesser von 2:1.

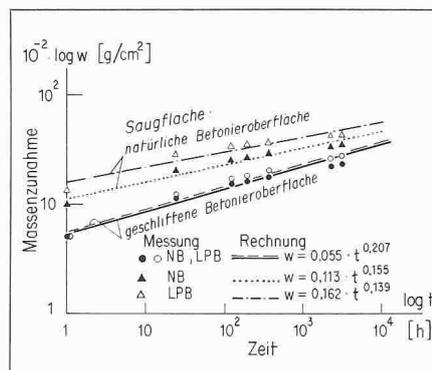


Bild 5. Einfluss der Beschaffenheit der Saugfläche auf den zeitlichen Verlauf der Massenzunahme.

Gezeigt sind die Resultate von Körpern mit $W/Z = 0,5$ mit geschliffener Oberfläche bzw. von solchen mit der natürlichen Betonoberfläche als Saugfläche. Verhältnis Höhe zu Durchmesser der Probekörper von 1:1.

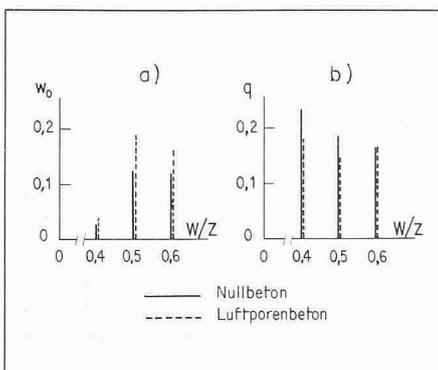


Bild 4. Einfluss des W/Z -Faktors auf den zeitlichen Verlauf der Massenzunahme.

Aufgetragen sind der Achsenabschnitt w_0 (Bild 4a) bzw. die Steigung q (Bild 4b) der Geradengleichung $\log w = \log w_0 + q \cdot \log t$ von Prüfkörpern mit natürlicher Betonoberfläche.

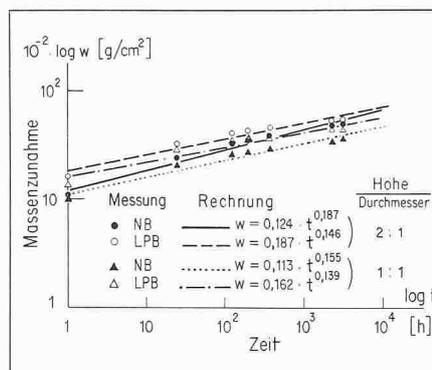


Bild 6. Einfluss des Verhältnisses Höhe zu Durchmesser der Probekörper auf den zeitlichen Verlauf der Massenzunahme.

Probekörper mit natürlicher Betonoberfläche.

aufgenommene Wassermenge wies eine mit steigendem W/Z -Faktor zunehmende Tendenz auf (Bild 4a). Die spätere Massenzunahme dagegen erfolgte eher rascher bei kleinerem W/Z -Faktor (Bild 4b).

Einfluss der Beschaffenheit der Saugfläche

Der Aufsaugvorgang wurde stark durch die Beschaffenheit der Saugfläche beeinflusst. Bei Aufnahme der Lösung durch die natürliche Betonoberfläche wurde innerhalb der ersten Stunde viel mehr aufgenommen als bei Proben, denen diese Schicht fehlte (Bild 5). Dagegen zeigten geschliffene Proben im weiteren Verlauf eine raschere Massenzunahme als Proben mit natürlicher Oberfläche.

Einfluss der Probengeometrie

Um vergleichbare Resultate zu erhalten, wurden, wie bereits früher erwähnt, alle Massenzunahmen auf die jeweils wirksame Aufsaugfläche bezogen. Aus den durchgeführten Versuchen bei $W/Z = 0,5$ geht hervor, dass weder die Höhe noch die Saugflächengröße und -form auf die Massenzunahme pro Flächeneinheit einen Einfluss hatten, sofern das Verhältnis Höhe zu Durchmesser gleich gehalten wurde.

Bild 6 zeigt, dass bei einem Verhältnis Höhe zu Durchmesser der Proben von 2:1 sowohl die innerhalb der ersten Stunde aufgenommene Lösungsmenge als auch die spätere Massenzunahme pro Zeiteinheit etwas höher waren als bei einem Verhältnis von 1:1.

Unterschied zwischen einseitig und zweiseitig offenen Probekörpern

Wie eingangs beschrieben, wurden alle Aufsaugversuche an Probekörpern durchgeführt, bei denen ausser der Saugfläche der ganze Körper abgedichtet war. Um abzuklären, ob diese Abdichtung den Aufsaugvorgang beeinflusst, wurden einige Zylinder mit $W/Z = 0,5$ und einem Verhältnis Höhe zu Durchmesser von 2:1 untersucht, bei denen nur die Mantelflächen abgedichtet waren, während die Aufsaugfläche und die gegenüberliegende Stirnfläche freibleiben.

Bild 7 zeigt, dass die Kurven einseitig und zweiseitig offener Probekörper praktisch zusammenfallen, d.h. dass in der gewählten Versuchsanordnung kein Unterschied feststellbar ist.

Resultate der Steighöhenbestimmungen

Die gleichzeitige Bestimmung der Steighöhen von Wasser und Chloridionen wurde an Körpern mit $W/Z = 0,5$ und einem Verhältnis Höhe zu Durchmesser von 2:1 in 10%iger Kochsalzlösung

durchgeführt (Bild 8). Zum Vergleich dazu wurde die Steighöhe des Wassers auch an Körpern bestimmt, die in reines Wasser eingetaucht waren (Bild 9).

Wie die Bilder 8 und 9 zeigen, liessen sich sowohl die Steighöhen des Wassers als auch der Chloridionen als Funktion der Zeit in der Form $H = H_0 \cdot t^p$ darstellen, wobei beachtet werden muss, dass die gemessenen Steighöhen wegen der ungleichen Verteilung der Zuschlagkörner im Beton eine gewisse Streuung aufwiesen. Der Vergleich zwischen den Kurven für Luftporen- und Nullbeton zeigt, dass die Wasser- bzw. Chloridionensteighöhen denselben Gesetzmässigkeiten wie die Massenzunahme gehorchten. Die Steighöhen waren am Anfang bei Luftporenbeton grösser als bei Nullbeton, dagegen erfolgte die spätere Zunahme der Steighöhen bei Luftporenbeton langsamer als bei Nullbeton.

Vergleicht man den zeitlichen Verlauf der Wassersteighöhen der Körper in Wasser und in 10%iger Kochsalzlösung (Bild 10), so ist praktisch kein Unterschied feststellbar. Mit der beschriebenen Nachweismethode wurde stets eine gegenüber der Steighöhe des Wassers verringerte Steighöhe der Chloridionen gefunden.

Diskussion der Resultate

Bei den Probekörpern aus Luftporenbeton wurde innerhalb der ersten Minuten nach dem Eintauchen der Körper eine rund 10% grössere Menge an Wasser bzw. Salzlösung aufgesogen als bei Probekörpern aus Nullbeton. Diese erhöhte Saugfähigkeit des Luftporenbetons beim Eintauchen in die Lösungen dürfte in der Beschaffenheit der Betonieroberfläche begründet sein. Sie ist mit grosser Wahrscheinlichkeit darauf zurückzuführen, dass die Saugfähigkeit der Kontaktzone (bestehend aus Zementstein mit aufgeplatzten kugelförmigen Poren) beim Luftporenbeton viel grösser ist als bei Nullbeton. Diese Vermutung wird erhärtet durch die untereinander etwa gleiche Saugfähigkeit der geschliffenen Probekörper aus Null- und Luftporenbeton, bei denen die sonst an der Oberfläche vorhandene Schicht aus porösem, feinkörnigem Material fehlte und die deshalb anfänglich wesentlich weniger Wasser aufnahmen.

Wie die Steighöhenbestimmungen gezeigt haben, scheint die Eindringtiefe des Wassers in die Probekörper von einem eventuell vorhandenen Salzgehalt der Lösung unbeeinflusst zu sein. Das erklärt, weshalb auch bei der Mas-

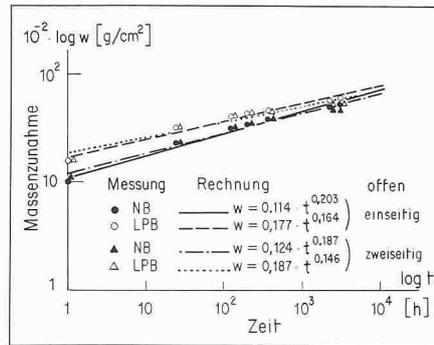


Bild 7. Unterschied zwischen einseitig und zweiseitig offenen Probekörpern im zeitlichen Verlauf der Massenzunahme.

Verhältnis Höhe zu Durchmesser der Probekörper von 2:1, Saugfläche = natürliche Betonieroberfläche

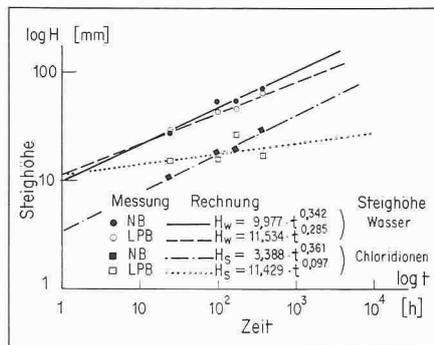


Bild 8. Zeitlicher Verlauf der Steighöhen von Wasser und Chloridionen in Probekörpern, die in 10%iger Kochsalzlösung eingetaucht waren.

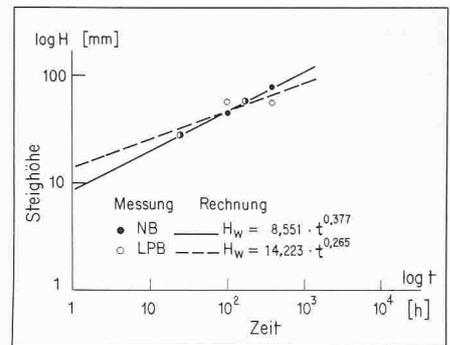


Bild 9. Zeitlicher Verlauf der Steighöhe von Wasser in Probekörpern, die in reines Wasser eingetaucht waren.

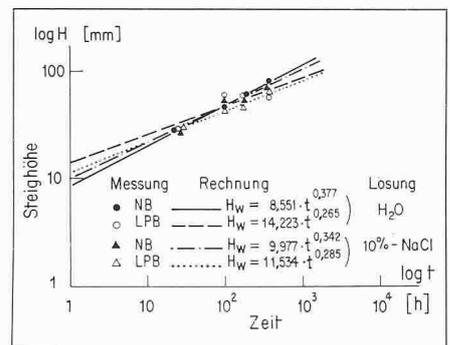


Bild 10. Einfluss des Salzgehaltes der Lösung auf den zeitlichen Verlauf der Steighöhe des Wassers in den Probekörpern.

senzunahme der Probekörper kein oder höchstens ein geringer Einfluss der Salzkonzentration der verwendeten Lösungen gefunden werden konnte. Die zusätzlich zum Wasser aufgenommenen Salz mengen waren vermutlich zu klein, um bei der Massenbestimmung einen messbaren Einfluss auszuüben.

Der Vergleich der vorliegenden Resultate mit den Untersuchungen von Wenger [6] ist nur beschränkt möglich. Bei seinen Versuchen wurden Prismen aus Zementmörtel und keine Betonproben verwendet, zudem war die Oberfläche der Prismen nicht abgedichtet, so dass eine Austrocknung an den freien Oberflächen erfolgen konnte.

Die Ergebnisse bestätigen erneut, welchen wichtigen Einfluss die Betonoberfläche auf die Eigenschaften eines Betons ausüben kann. Sie haben gezeigt, dass beim Fehlen der natürlichen Oberflächenschicht in der Anfangsphase bedeutend weniger Wasser aufgenommen wird als durch eine unveränderte Betonieroberfläche. Dadurch kann der kritische Sättigungsgrad weniger rasch erreicht werden, was die Gefahr von möglichen Frostschäden verringert.

Adresse der Verfasser: C. Tinić, Dr. sc. techn., und A. Burkhard, Dr. phil. II, Institut für Baustoffe Werkstoffchemie und Korrosion, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich

Literatur

- [1] Klopfer, H. (1974): «Wassertransport durch Diffusion in Feststoffen». Bauverlag, Wiesbaden
- [2] Haller, P. (1942): «Der Austrocknungsvorgang von Baustoffen». EMPA-Diskussionsbericht Nr. 139, Zürich
- [3] Cammerer, J. S. (1954): «Das Verhalten der wichtigsten Baustoffe gegenüber flüssigem oder dampfförmigem Wasser». Tonind.-Zeit. 78, 199-204
- [4] Schwarz, B. (1972): «Die kapillare Wasseraufnahme von Baustoffen». Gesundheits-Ingenieur, 93, 206-211
- [5] Collepari, M., Marcialis, A., Turriziani, R.:
 - (1970): «La cinetica di penetrazione degli ioni cloruro nel calcestruzzo». Il cemento 67, 157-164
 - (1972): «The penetration of de-icing agents in cement pastes». Il cemento 69, 143-150
- [6] Wenger, B. (1978): «Aufsugversuche an Mörtelprismen mit Wasser und Tausalzlösungen». Beton 28, 52-54

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen des Forschungsprojektes «Frost- und Tausalzbeständigkeit von Beton» am Institut für Baustoffe, Werkstoffchemie und Korrosion der ETH Zürich unter Prof. Dr. A. Rösli durchgeführt. Die Verfasser danken der Betonabteilung der EMPA Dübendorf unter der Leitung von Herrn W. Studer für die Herstellung der Probekörper und für anregende Hinweise und Diskussionen.