

Methode zur Messung der Kapillarität von Beton und Mörtel

Autor(en): **Piguet, A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Cementbulletin**

Band (Jahr): **56-57 (1988-1989)**

Heft 17

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-153732>

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

MAI 1989

JAHRGANG 57

NUMMER 17

Methode zur Messung der Kapillarität von Beton und Mörtel

Kapillarporen. Messprinzip. Durchführung und Beispiele.

Beton und Mörtel sind poröse Baustoffe. Im erhärteten Zustand weisen sie Hohlräume auf, die meist mit Luft oder Wasser gefüllt sind. Ihr Porenvolumen ist sehr unterschiedlich und kann 10–20% und mehr betragen, d.h. 100–200 l je m³ Festbeton. Deshalb ist die Porosität, besonders die Kapillarität, ein entscheidendes Merkmal der Baustoffqualität. Sie bestimmt u.a. die Festigkeit, den Wassergehalt, die Dichte und die Dauerhaftigkeit. Man unterscheidet Verdichtungsporen (infolge Betonherstellung), Kornporen (als Eigenschaft des Zuschlagmaterials) und die Zementsteinporen.

Die Kapillarporen

Der Zementstein ist der erhärtete Zementleim, bestehend aus Zement, Wasser und jenem Anteil des Zuschlags bzw. Zusatzes, der dieselbe Feinheit hat wie das Bindemittel. Seine Poren entstehen vom Moment des Abbindens an und verändern sich während der Erhärtung je nach den Bedingungen der Umgebung. Ihren Abmessungen gemäss unterscheidet man

- | | | | |
|-----------------|---|-------------|----|
| – Makroporen | ∅ | > 1 | µm |
| – Kapillarporen | ∅ | 0,100–1,000 | µm |
| – Mikroporen | ∅ | 0,010–0,100 | µm |
| – Gelporen | ∅ | < 0,010 | µm |

2 Gesondert zu betrachten ist Beton mit künstlich eingeführten Luftporen, der hier nicht behandelt wird.

Gelporen entstehen bei der Reaktion von Zement und Wasser (Hydratation). Damit diese Reaktion zu 100% ablaufen kann, braucht es eine Wassermenge von 40% des Zementgewichts ($W/Z = 0,40$). Chemisch gebunden werden aber nur 25%, der Rest verbleibt als Gelwasser in den Gelporen. Mit fortschreitender Hydratation vermindert sich das Gesamtvolumen. Dieser Vorgang wird chemisches Schwinden genannt und hinterlässt ein Porensystem mit Abmessungen von $0,1-1\mu\text{m}$, ist also von den Kapillarporen visuell nicht zu unterscheiden. Ihr Anteil beträgt bei vollständiger Hydratation 6 cm^3 je 100 g PC, d. h. je nach W/Z -Wert etwa 7% des Zementsteins bzw. 2% des Festbetons.

Kapillarporen entstehen durch das überschüssige Wasser. Ihr Volumen entspricht also jener Menge an Anmachwasser, die für die Hydratation nicht gebraucht wird, d. h. jenem Teil, der über den 40% des Zementgewichts liegt ($W/Z > 0,40$). Dieses überschüssige Wasser wird dem Beton in der Praxis beigegeben, um ihn verarbeitbar zu machen, sofern man nicht mit Zusätzen denselben Effekt erzielen will. So hat beispielsweise Beton PC 300 mit $W/Z = 0,60$ einen Wasserüberschuss von $0,20 \times 300\text{ kg} = 60\text{ kg}$, d. h. er kann im Laufe der Zeit ein Kapillarporenvolumen von 60 l/m^3 (6%) bilden. Dieses Volumen ist in der Praxis noch höher, weil der Zement nicht vollständig hydratisiert. Ist er es z. B. nur zu 80%, so sind weitere $20\% \times 0,40 \times 300\text{ kg} = 24\text{ kg}$ Anmachwasser ungebunden und erhöhen das Kapillarvolumen um 24 l/m^3 (2,4%). Die Kapillarporen sind fadenförmig und bilden ein mehr oder weniger zusammenhängendes, feinmaschiges Netz. Je nach Austrocknungsgrad sind sie teils mit Luft, teils mit Wasser gefüllt.

Grössere Poren (Makroporen) entstehen durch Entmischung, Luft einschüsse, schlechte Verarbeitung, undichte Schalung usw.

Das System der Kapillarporen ist so bezeichnet, weil am betrachteten Körper die Eigenschaft der *Kapillarität* nachgewiesen werden kann. Sie wird sichtbar, wenn das Porensystem an den Oberflächen des Körpers offen ist und die Kapillarporen in Kontakt mit einer Flüssigkeit gebracht werden. In diesem Fall steigt die Flüssigkeit im Körperinnern an, ohne dass äussere Kräfte einwirken. Der Vorgang gleicht einem Aufsaugen («Saugeffekt») und ist durch die Steighöhe und die Steiggeschwindigkeit gekennzeichnet. Er ist abhängig vom Kapillardruck p , der dieses Ansteigen auslöst. Der Kapillardruck beträgt

3

$$p = \frac{2\sigma}{R} \quad (\text{Gesetz von Laplace})$$

wobei σ = Oberflächenspannung der Flüssigkeit

R = Krümmungsradius der Flüssigkeit in der Kapillare

Der Krümmungsradius R ist in der gleichen Grössenordnung wie die Abmessung der Kapillarpore und hängt ausserdem noch vom Randwinkel zwischen Flüssigkeit und Festkörper ab. Je enger die Poren, desto grösser sind die Kapillarkräfte und desto weniger kann die Kapillarflüssigkeit verdunsten. Bei sehr feinen Poren, wie z. B. in den Gelporen des Zementsteins, gibt es praktisch keine Verdunstung.

Wird die Kapillarität von Beton ermittelt, erhält man jene des Zementsteins. Die Porosität der Zuschlagstoffe hat in schweizerischen Verhältnissen keinen Einfluss auf die Kapillarität des Betons, weil meist Zuschlag mit dichteren Kieskörnern verwendet wird (Ausnahme: Leichtbeton, der gesondert zu untersuchen ist). Die Kapillarität des Zementsteins ist die ausschlaggebende Grösse für den Transport von flüssigem Wasser innerhalb der Betonkonstruktion. Dieses Wasser bewegt sich langsam, und zwar um so langsamer, je feiner die Poren sind. Seine Geschwindigkeit ist ein charakteristischer Materialkennwert bei all jenen Erscheinungen, wo Wassertransport eine Rolle spielt, z. B. Dichtigkeit, Frostbeständigkeit, Chlorideindringung, Ausblühungen usw.

Messprinzip

Die Methode beruht auf der direkten Messung der kapillaren Steighöhe von Flüssigkeit. Man stellt ein Probestück mit seiner ebenen Fläche in eine Wasseroberfläche (Abb. 1). Die Steighöhe h folgt bei einem Aufsaugversuch näherungsweise der Wurzel aus der Zeit t , vgl. [6]. Gesucht ist der Wassereindringkoeffizient B

$$B = \frac{h}{\sqrt{t}} \quad [\text{m} \cdot \text{h}^{-0,5}]$$

Im Versuch wählt man immer dieselbe Versuchsdauer. Bei einer Zeit von 60 Minuten, d. h. $t = 1$ (in Stunden), kann B direkt aus der Steighöhe h abgelesen werden.

Gegenüber der gewichtsmässigen Bestimmung, wo man die kapillare Wasseraufnahme über das Gewicht der aufgesaugten Wassermenge ermittelt, hat diese Methode den Vorteil, dass sie von der

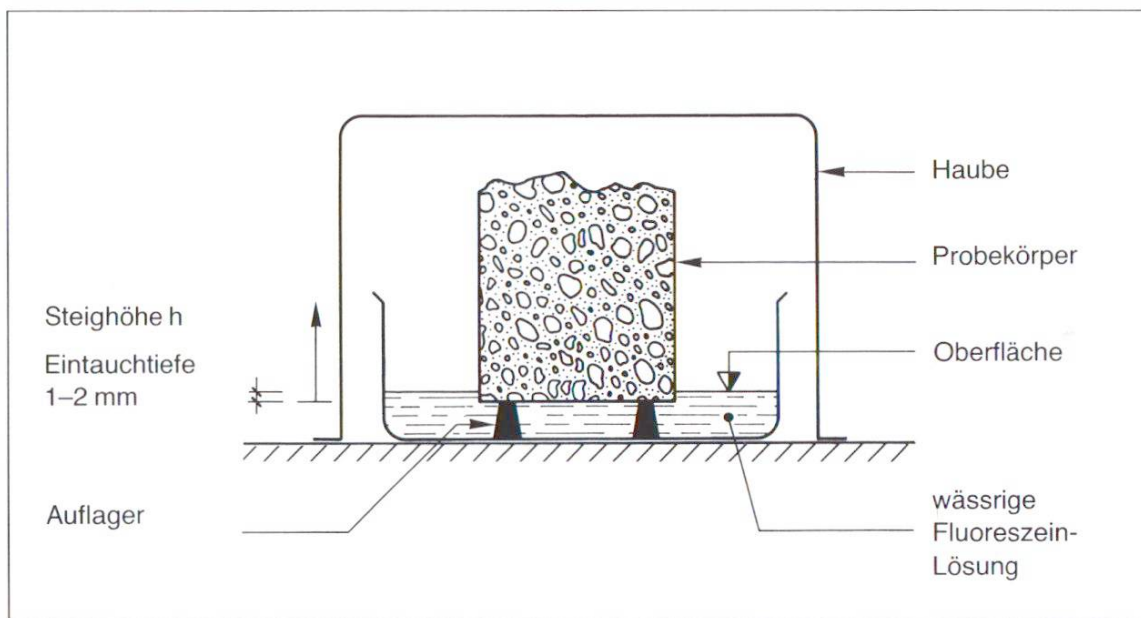


Abb. 1 Versuchseinrichtung zur Bestimmung der Kapillarität.

Granulometrie des Zuschlagstoffes und insbesondere vom Verhältnis Zuschlag zu Zementstein unabhängig ist. Für die praktische Beurteilung von Beton bietet sie auch als einzige Methode die Möglichkeit, den Beton lokal zu untersuchen, d. h. dessen Kapillarität sozusagen punktuell zu ermitteln.

Ausrüstung und Durchführung

Das Probestück kann grundsätzlich eine beliebige Größe aufweisen. Mindestens eine seiner Oberflächen muss aber eben sein. Vorgängig wird es während 24 Stunden bei $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ in einem Trockenschrank getrocknet. Dabei entweicht alles Porenwasser mit Ausnahme jenes der Gelporen. Nach der Abkühlung wird es in Kontakt mit einer wässrigen Fluoreszeinlösung gebracht (Konzentration $0,1\%$), vgl. Abb. 1. Nach 60 Minuten unterbricht man den kapillaren Saugvorgang. Man nimmt das Probestück aus der Lösung und, um die Steighöhe sichtbar zu machen, trocknet man es nochmals während 24 Stunden bei $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ im Trockenschrank. Dabei entweicht das Wasser aus der eingedrungenen Lösung, während das Fluoreszin als Markierung an den Porenwänden verbleibt. Zu dessen Fixierung imprägniert man das Probestück bis zur Mitte mit einem Epoxidharz niedriger Viskosität unter einem Druck von 100 bar. Nach der Aushärtung wird es geschnitten und unter violettem Licht durch einen Gelbfilter betrachtet. Man erhält ein fluoresziertes Bild, das den Bereich des angestiegenen Kapillarwassers genau abgrenzt, also die Messung der Steighöhe auf einfache Art ermöglicht.

5 Beispiele

Beispiel 1. Von Wänden der Stärke 18 cm, eigens von der EMPA hergestellt, wurden Probestücke entnommen. Unsere Messungen betreffen die oberen 45–48 cm der Wandhöhe. Die mit Wasser in Kontakt gebrachten Oberflächen sind Schnittflächen und nicht geschaltete Aussenseiten. Man misst in diesem Beispiel also die Kapillarität im Innern der Wand, in Abhängigkeit der abnehmenden Wandhöhe. Abb. 2 zeigt die kapillare Steighöhe von vier verschiedenen Betonsorten, gemessen nach der beschriebenen Methode. Tabelle 1 enthält die Daten der Betonmischungen und die zugehörigen Wassereindringkoeffizienten B. Die Werte sind an den Stellen $t = 2\text{--}40\text{ cm}$ entnommen, von oben nach unten gemessen. Sie zeigen:

- Die Kapillarität ist im oberen Teil der Wand höher.
- Für einen Beton mit besserem W/Z-Wert ist die Kapillarität deutlich geringer (Nr. 1 mit $W/Z = 0,50$ im Vergleich zu den anderen drei).
- Das Einführen künstlicher Luftporen beeinflusst die kapillare Steighöhe nicht.
- Die Entmischung infolge Übervibrieren (Nr. 4) hat keinen Einfluss auf die Kapillarität, wie der Vergleich der oberen Wandpartie (sandreich) mit der unteren (Anhäufung von Grobkorn) zeigt. Die Kapillarität ist also eine spezifische Eigenschaft des Zementsteins.

Tabelle 1. Daten der Betonmischungen zu Beispiel 1. Gemessener Wassereindringkoeffizient B

Betonmischung			Wassereindringkoeffizient B in $\text{mm} \cdot \text{h}^{-0,5}$ bzw. $10^{-3} \text{ m} \cdot \text{h}^{-0,5}$ im Abstand t von der Mauerkrone (nach unten gemessen)						
Nr.	kg PC je m^3	W/Z		t [cm]	2	10	20	30	40
1	300	0,50	normal vibriert		15	10	10	10	12
2	250	0,68	schwach vibriert		35	27	21	20	17
3	250	0,68	schwach vibriert, mit 5% Luftporen		30	19	18	18	20
4	250	0,68	übervibriert, mit 5% Luftporen		35	14	21	17	16

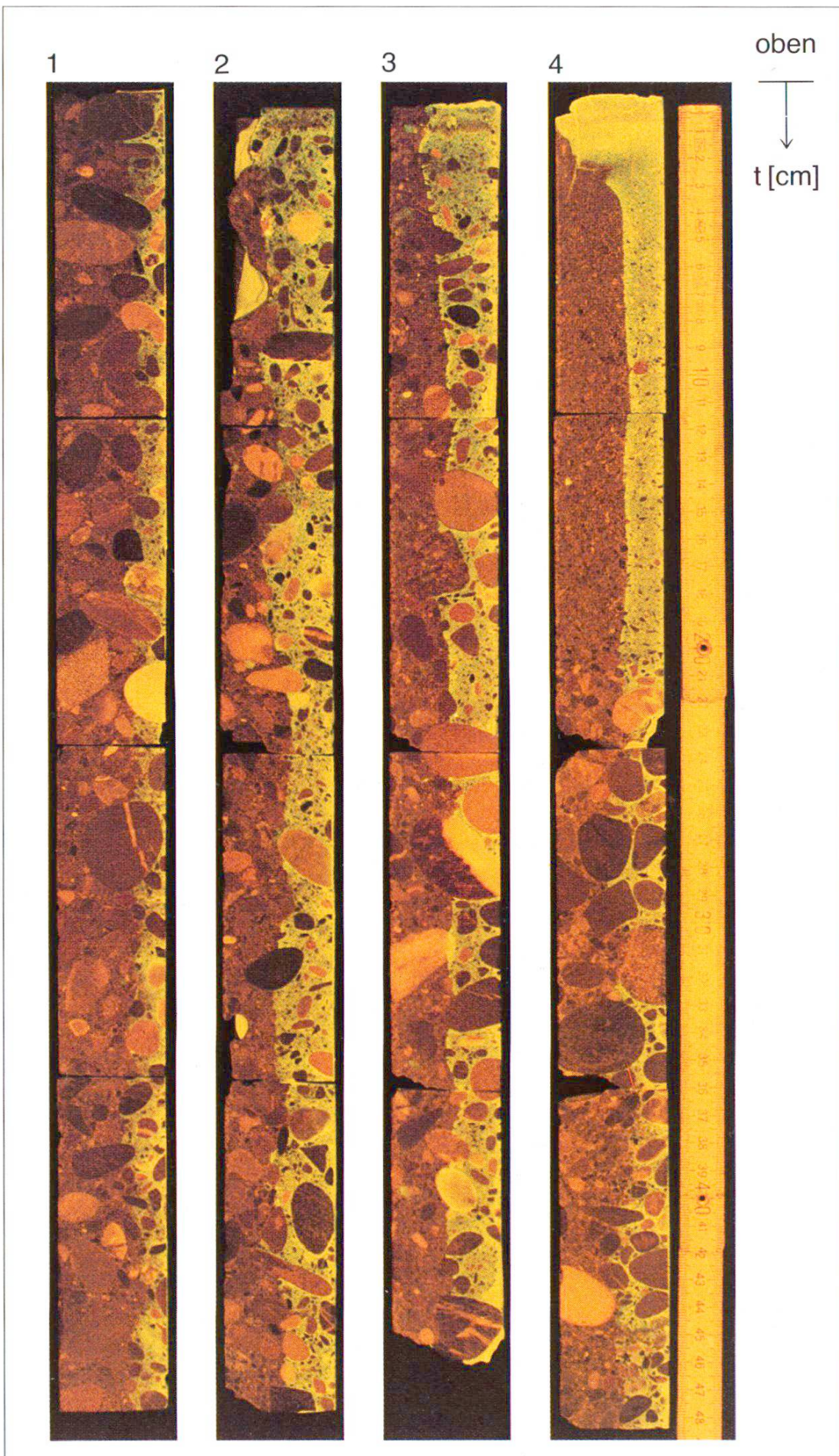
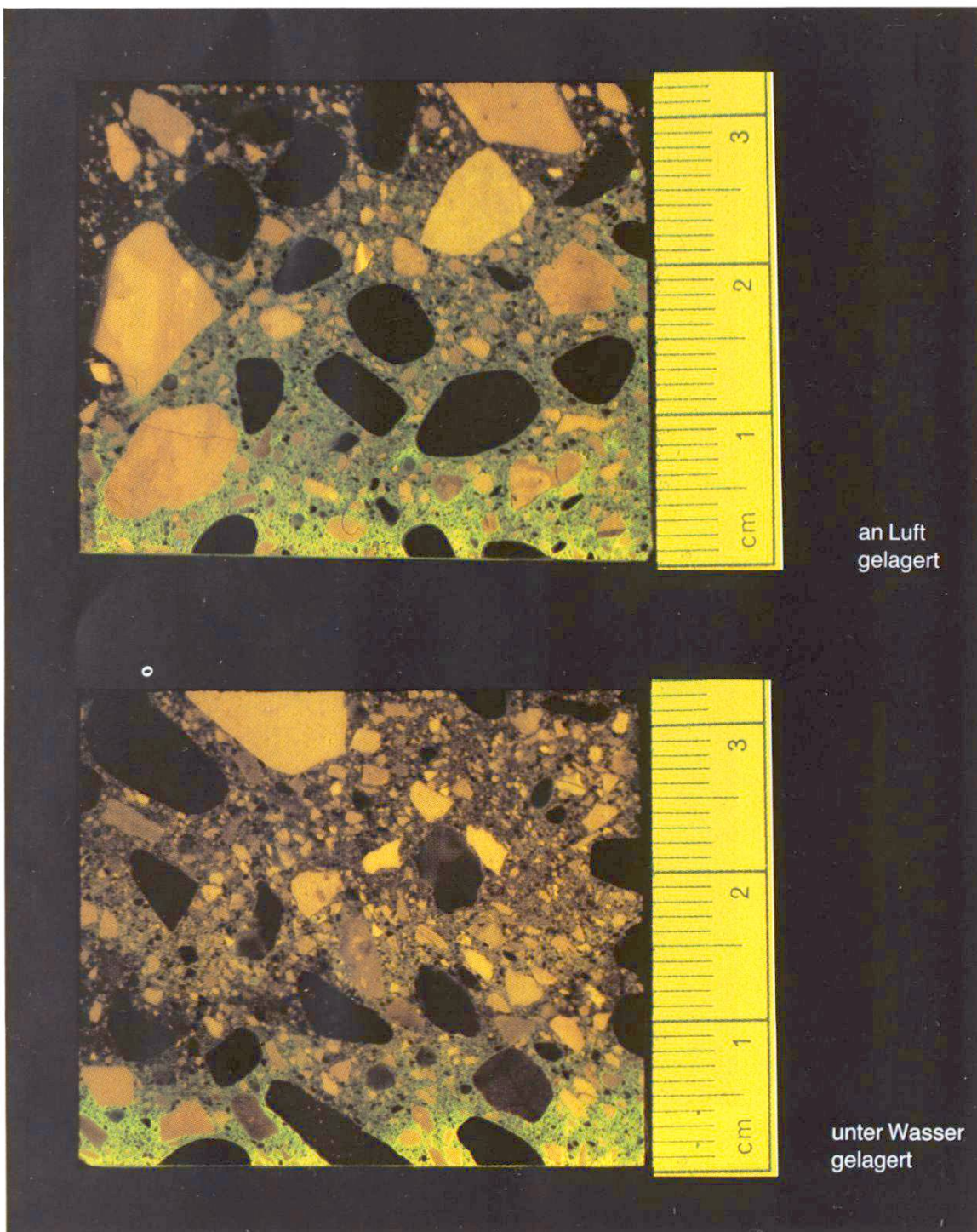


Abb. 2 Probestücke aus dem oberen Teil von vier verschiedenen Betonwänden. Betonmischung und Kapillarität, vgl. Tabelle 1.

7 Beispiel 2. Nachbehandeln heisst Feuchthalten. Damit soll vermieden werden, dass der Beton vorzeitig austrocknet. Dieser Einfluss kann wichtiger werden als jener des W/Z-Wertes. Abb. 3 zeigt zwei Betonwürfel, die nach 24 Stunden ausgeschalt und dann an Luft bzw. unter Wasser gelagert wurden. Im Alter von 28 Tagen wurde dann die Kapillarität gemäss der beschriebenen Methode ermittelt. Der Unterschied zeigt deutlich die Bedeutung des Feuchthaltens im Hinblick auf die Porosität des Zementsteins bzw. den Einfluss der Nachbehandlung auf die Dauerhaftigkeit.

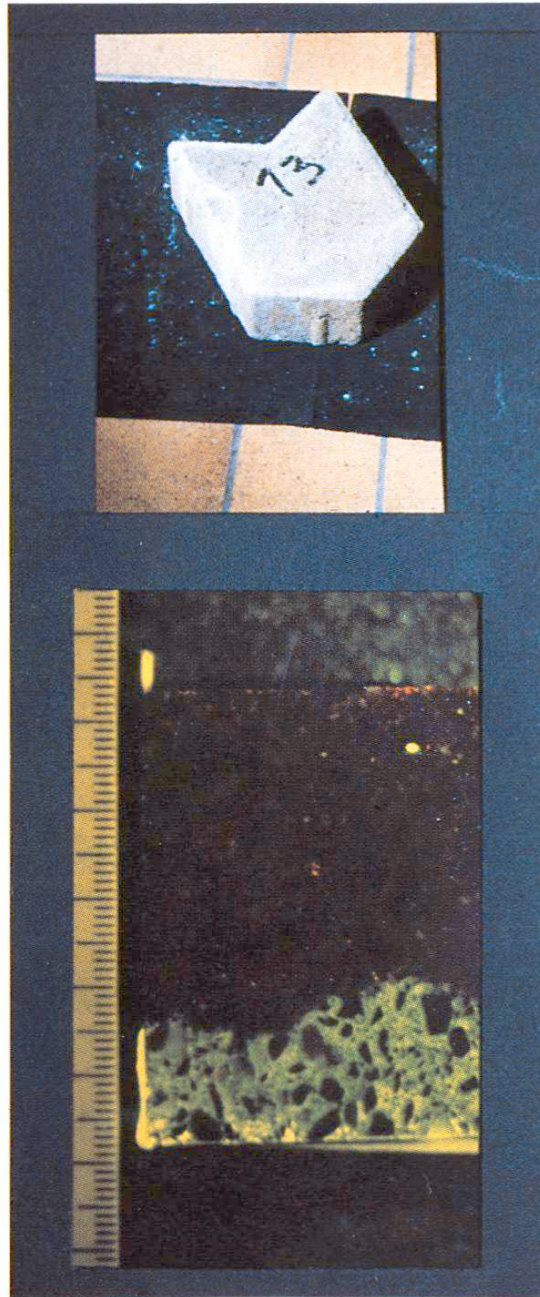
Abb. 3 Einfluss der Nachbehandlung auf die Betonporosität. Beton PC 300, 0–30 mm, W/Z = 0,57, nach 24 Stunden ausgeschalt. Oben: an Luft gelagert, unten unter Wasser gelagert. Bestimmung der Kapillarität im Alter von 28 Tagen.



8 Beispiel 3. Ausblühungen können auf Transportphänomene von Wasser innerhalb des Zementsteins zurückgeführt werden. Abb. 4 und 5 zeigen je einen Pflasterstein. Derjenige Stein mit hoher Kapillarität hat auch Ausblühungen (Nr. 13).

Abb. 4 Pflasterstein ohne Ausblühungen.
Wassereindring-Koeffizient
 $B = 10 \cdot 10^{-3} \text{ m h}^{-0,5}$.

Abb. 5 Pflasterstein mit Ausblühungen.
Wassereindring-Koeffizient
 $B = 23 \cdot 10^{-3} \text{ m h}^{-0,5}$.



Die beschriebene Methode ist einfach in ihrer Handhabung und liefert eine wesentliche Information als Ergänzung zur Festigkeit und Rohdichte. Sie ermöglicht es, die Dauerhaftigkeit zu beurteilen, sei es in bezug auf Frost und auf Karbonatisierung oder auf verschiedene andere Angriffe, denen der Baustoff im Laufe der Zeit ausgesetzt ist. Die besten mechanischen Eigenschaften nützen wenig, wenn sich die Betonstruktur schon innert kurzer Zeit verschlechtert.

9 Literatur

- [1] *Papadakis, M., Venuat, M.*: Manuel du laboratoire d'essais des ciments, mortiers, bétons. Editions Eyrolles, Paris 1969, pp. 255–259
- [2] *Venuat, M.*: Recherches sur le béton hydrotechnique, résumé du livre du Prof. V.V. Stolnikov (URSS). Revue des Matériaux de construction 607 (1966), pp. 151–165
- [3] *Venuat, M.*: Appréciation de la résistance au gel des bétons par mesure de l'absorption capillaire. CR 1/Q30, 8e Congrès International des Grands Barrages. Edimbourg, mai 1964
- [4] *Piguet, A.*: Einfluss der Nachbehandlung auf die Betonkapillarität unter Berücksichtigung des Wasserzementwertes und der Festigkeit. In: Wittmann, F.H. (Hrsg.): Werkstoffwissenschaften und Bausanierung. Internationales Kolloquium, Esslingen (1983), pp. 149–152
- [5] *Wittmann, F.H.*: Feuchtigkeitsaufnahme und Feuchtigkeitstransport in porösen Baustoffen. In: Weber, H. u. a.: Fassadenschutz und Bausanierung. Kontakt und Studium, Band 40, Expert Verlag, 4. bearb. Aufl. (1988), pp. 49–71
- [6] *Weber, H.*: Die Ermittlung von Kenndaten als Grundlage zur Bewertung und Sanierung von Gebäuden und zur Auswahl geeigneter Sanierungsverfahren und Sanierungssysteme. Ibidem, pp. 1–22
- [7] *Peter, G., Yang, Q., Rösli, A.*: Statistische Auswertung von Aufsaugversuchen an Beton zur Charakterisierung der schnellen Infiltration wässriger Lösungen. Material und Technik, Nr. 1 (1986), pp. 13–22
- [8] *Tinic, C., Burkhard, A.*: Aufsaugversuche an Betonproben mit Wasser und Kochsalzlösung. Schweizer Ingenieur und Architekt, 18 (1981), pp. 362–365

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