

M. Krus, H.M. Künzel

## Das Wasseraufnahmeverhalten von Betonbaustoffen

### Einleitung

Im allgemeinen erfolgt die kapillare Wasseraufnahme poröser mineralischer Baustoffe linear mit der Wurzel der Zeit ( $\sqrt{t}$ -Gesetz) [3]. In Bild 1 ist die Wasseraufnahme verschiedener mineralischer Baustoffe aufgetragen. Mit Ausnahme der Betonproben zeigen alle eine mit der Wurzel der Zeit lineare Aufnahme. Volkwein [5] erklärt das abweichende Verhalten des Betons damit, daß sich das flüssige Wasser in den extrem kleinen Gelporen des Zementsteins wie ein Bingham-Medium verhalte. Bei Unterschreitung einer Mindestströmungsgeschwindigkeit trete eine Verfestigung der Flüssigkeit ein, die schließlich zum Stillstand führe. Allerdings zeigen Messungen an einem Material mit einer dem Zementstein vergleichbaren Porenradienverteilung ein Wasseraufnahmeverhalten entsprechend dem  $\sqrt{t}$ -Gesetz. Auch die Erklärung von Sosoro [4], daß in den Gelporen des Zementsteins eine dem Flüssigkeitsstrom entgegengesetzte Diffusion an CaOH-Ionen zu einem Absinken der Fließgeschwindigkeit führe, kann nicht überzeugen, da hierfür die Diffusionsgeschwindigkeiten viel zu niedrig liegen.

### Durchführung der Versuche

Zur weiteren Klärung der Ursache für die Abweichung des Wasseraufnahmeverhaltens zementgebundener Baustoffe vom  $\sqrt{t}$ -Verhalten wurden an Zementsteinproben die Porosität, die zeitabhängige Flüssigkeitsaufnahme und die Quellung bestimmt. Dazu wurden zylindrische Zementsteinpro-

ben aus Portlandzement mit drei unterschiedlichen Wasser/Zementwerten (W/Z-Wert) von 0,35, 0,45 und 0,6 mit einer Länge von 100 mm und einem Durchmesser von 23 mm hergestellt. Die Proben wurden nach der Herstellung vier Monate unter Wasser gelagert und hatten zu Beginn der Messungen ein Alter von etwa einem Jahr.

Für die Bestimmung der Porosität der untersuchten Materialien wurden drei unterschiedliche Meßmethoden eingesetzt. Bei der Heliumpyknometrie werden an Proben mit Abmessungen von etwa 1 cm<sup>3</sup>, die bei 105 °C getrocknet wurden, nach Evakuierung der Probe die Porenräume mit Helium gefüllt und die Menge des dazu notwendigen Inertgases bestimmt. Helium besitzt als einatomiges Gas mit etwa 0,22 nm den kleinsten Teilchendurchmesser aller Gase (Wasserdampfmoleküldurchmesser 0,28 nm) und kann deshalb auch die kleinsten Porenräume erreichen. Die Quecksilberdruckporosimetrie wird anschließend an denselben Proben durchgeführt. Das nicht benetzende Quecksilber wird durch Aufbringen eines Überdrucks in die Probe gepreßt und die aufgenommene Menge registriert. Bei einem maximalen Druck von 200 bar können auch Mikroporen bis zu einem Radius von 3,7 nm mit Quecksilber gefüllt werden. Bei der Wassersättigungsmethode wird der maximale Wassergehalt bestimmt und daraus die Porosität berechnet.

Für die Bestimmung des Flüssigkeitsaufnahmeverhaltens wurden die getrockneten, seitlich mit Epoxidharz abgedichteten Proben mit der Stirnseite 5 mm tief in die Flüssigkeit getaucht und der zeitliche Verlauf der Flüssigkeitsaufnahme durch Wägung bestimmt. Zusätzlich zur Wasseraufnahme wurde auch die Aufnahme von Hexan, einer im Gegensatz zum Wasser unpolaren Flüssigkeit, untersucht.

Zur Ermittlung der Quellung dieser Materialien wurde unter isothermen Bedingungen die Länge der Proben im trockenen Zustand und nach Sättigung mit der Flüssigkeit bestimmt. Aus der ermittelten Längenänderung läßt sich das Quellmaß bestimmen.

### Meßergebnisse

Die mit drei unterschiedlichen Methoden ermittelten Porositäten der Zementsteinproben sind in Tabelle 1 aufgelistet. Wie erwartet steigt die Porosität mit steigendem W/Z-Wert. Dabei stimmen die mit der Heliumpyknometrie und der Quecksilberporosimetrie erzielten Ergebnisse recht gut

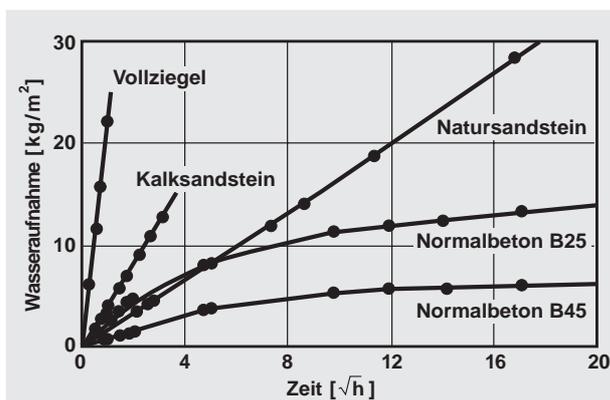


Bild 1: Kapillare Wasseraufnahme verschiedener mineralischer Baustoffe (Meßwerte aus [1] und [3]).

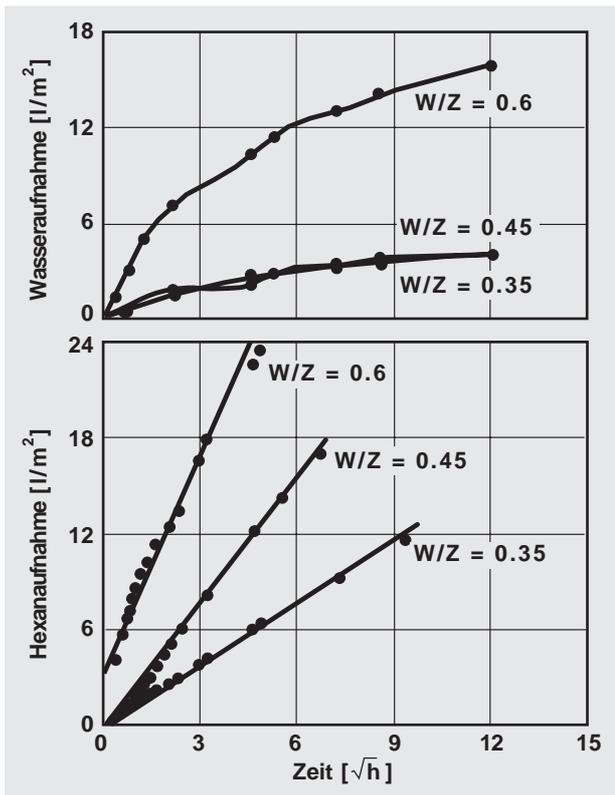


Bild 2: Kapillare Wasser- (oben) und Hexanaufnahme (unten) des Zementsteins mit unterschiedlichen Wasser-/Zement-Werten (W/Z).

überein. Auch die durch Wasserlagerung ermittelten Porositäten steigen mit dem W/Z-Wert an; sie liegen aber deutlich über den mit den beiden anderen Methoden bestimmten Werten.

Die Wasseraufnahme der untersuchten Zementsteinproben ist in Bild 2 oben dargestellt. Alle drei Proben zeigen vergleichbar mit Betonproben ein deutliches Abweichen von  $\sqrt{t}$ -Verhalten. Dabei unterscheiden sich die Ergebnisse der Proben mit einem W/Z-Wert von 0,35 und 0,45 nur geringfügig voneinander. Bei einem W/Z-Wert von 0,6 ist dagegen eine deutlich schnellere Wasseraufnahme zu beobachten. Vergleicht man damit die Aufnahme von Hexan (Bild 2 unten), so ergibt sich ein anderes Bild. Alle drei Zementsteinproben zeigen einen linear mit der Wurzel der Zeit ansteigenden Hexangehalt, wobei die Aufnahmegeschwindigkeit eindeutig mit steigendem W/Z-Wert zunimmt.

In Tabelle 1 sind die gemessenen Längenänderungen der Proben mit aufgeführt. Bei allen drei Materialien ergibt sich durch die Wassersättigung eine starke Quellung, die abhängig von W/Z-Wert 3,5 ‰ bis 6 ‰ beträgt. Die Aufnahme von Hexan bewirkt dagegen keinerlei Quellung, statt dessen ist sogar eine geringe Schrumpfung zu beobachten. Eine Ursache für diese Schrumpfung könnte darin liegen, daß die Proben bei der Messung der Ausgangslänge noch einen geringen Feuchtegehalt besaßen. Dieses Wasser könnte durch das Hexan herausgelöst worden sein, so daß die zu Beginn vorhandene geringe hygrische Quellung zurückging.

## Interpretation der Ergebnisse

Die im nassen Zustand mit der Wassersättigungsmethode ermittelten Porositäten des Zementsteins liegen deutlich über den an trockenen Proben mit Hilfe der Heliumpyknometrie oder Quecksilberporosimetrie bestimmten. Diese Beobachtungen wurden bereits 1983 von Marsh et al. [2] durch Messungen an Zementstein gemacht. Da der Atomdurchmesser des Heliums aber kleiner als der Durchmesser des Wassermoleküls ist, kann der Unterschied nicht damit begründet werden, daß Wasser offene Poren füllt, die vom Helium nicht erreicht werden. Eine Erklärung für die Porositätszunahme könnte sein, daß das stark polare Wasser zwischen Mineralschichten kriechen, die Abstände zwischen ihnen vergrößern und damit zusätzlichen Porenraum schaffen kann. Dieser zusätzliche Porenraum geht dann beim Trocknen dieses Materials wieder verloren. Dieses Aufweiten des Gefüges muß, wie auch durch die Messungen bestätigt wird, zu einem deutlichen hygrischen Quellen des Materials führen. Hexan, als nicht polare Flüssigkeit, bewirkt dagegen keine Quellung. Da aber Hexan ganz entsprechend dem  $\sqrt{t}$ -Verhalten aufgesaugt wird, ist es sehr wahrscheinlich, daß die Quellung bei der Wasseraufnahme für das Abweichen vom  $\sqrt{t}$ -Verhalten verantwortlich ist. Durch das Quellen werden die ohnehin schon sehr kleinen Kapillarporen verkleinert, so daß die Wasseraufnahme immer mehr behindert wird.

Tabelle 1: Mit drei unterschiedlichen Meßmethoden bestimmte Porositäten der untersuchten Zementsteinarten und deren Quellung nach Sättigung mit Wasser und Hexan.

Zementstein	Porosität bestimmt durch			Quellung	
	Heliumpyknometrie [Vol.-%]	Quecksilberporosimetrie [Vol.-%]	Wassersättigung [Vol.-%]	mit Wasser [%]	mit Hexan [%]
W/Z = 0,35	14	15	36	3,5	-0,05
W/Z = 0,45	22	24	44	3,8	-0,05
W/Z = 0,6	31	29	50	6,0	-0,31

## Literatur

- [1] Künzel, H.M., Krus, M.: Pore size distribution and transport properties of porous building materials. Science project CT 91-0737, Annual report 2, 1994.
- [2] Marsh, B.K et al.: The effect of solvent replacement upon the pore structure characterisation of portland cement paste. Proceedings, Principles and Applications of Pore Structural Characterisation, Milan/Italy, 1983.
- [3] Schwarz, B.: Die kapillare Wasseraufnahme von Baustoffen. Gesundheitsingenieur 93 (1972), H. 7, S. 206-211.
- [4] Sosoro, M.: Modell zur Vorhersage des Eindringverhaltens von organischen Flüssigkeiten in Beton. Diss. Universität Stuttgart 1994.
- [5] Volkwein, A.: Untersuchungen über das Eindringen von Wasser und Chlorid in Beton. Berichte aus dem Baustoffinstitut der TU München (1991), H. 1, S. 1-131.

Die Untersuchungen wurden im Rahmen des EU-Projektes „Science“ durchgeführt.