

# Einfluss der Luftfeuchte auf die Nanostruktur des Zementsteins

Text | Jürgen Adolphs

Bilder | © Thermo Fisher Scientific

Grafiken | © Jürgen Adolphs

**Beton ist weltweit der meistverwendete Baustoff mit stetig steigender Bedeutung. Die interessierende Längenskala reicht von Kilometern bis hin zu weniger als einen Nanometer im Bereich des Mikrogefüges.**

Betonbauten sind oft extremen Klimabedingungen ausgesetzt. Dabei werden fast alle Eigenschaften von dem Mikrogefüge des Zementsteins, dem Bindemittel im Beton, geprägt. Zementstein selbst besteht im Wesentlichen aus Kalziumsilikathydraten, die ein nanoporöses System bilden [1, 2]. Die typischen Nanoporen von ca. 2 nm Radius sind auch im Ultrahochleistungsbeton enthalten [3]. In Normalbetonen, abhängig vom Wasser-Zement-Wert und der Art der Zuschläge und chemischen Zusatzstoffe wie Luftporenbildner, finden sich zusätzlich Poren im Bereich von 10 nm bis in den Kapillarporenbereich von einigen Mikrometern sowie im Luftporenbereich von Millimeter-Größe.

Diese Poren sind für den Transport in der Gas- und Flüssigphase verantwortlich und somit hinsichtlich des Eintrags von Schadstoffen ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , Chloride) von essenzieller Bedeutung für die Beständigkeit. Auf jeden Fall sind die Betoneigenschaften nicht nur von der Temperatur, sondern

auch von der Umgebungsfeuchte abhängig. Daher wurden alle im Folgenden genannten Untersuchungen an vorgefeuchteten Zementsteinproben durchgeführt, während die Wasserdampfsorptionsisothermen mit hochauflösenden Sorptionsgeräten (z. B. TA Waters Q5000SA) bestimmt wurden. Neben den mechanischen werden auch die physikalisch-chemischen Eigenschaften beeinflusst.

---

**Auf jeden Fall sind die Betoneigenschaften nicht nur von der Temperatur, sondern auch von der Umgebungsfeuchte abhängig.**

---

So zeigt bei ca. 50 % relativer Feuchte Zementstein aus Portlandzement ( $w/z = 0,4$  min. 28 Tage Lagerung unter Kalziumhydroxid) Minima der Druckfestigkeit, der spezifi-



Bild 1: PASCAL Porosimeter, durch das vertikale Befüllen (rechte Seite) bei gleichzeitigem druckkontrollierten Entgasen oberhalb des Wasserdampfsättigungsdrucks sind Porosimetriemessungen an vorgefeuchteten Materialien möglich.

schen Oberfläche (Neutronenkleinwinkel – SANS) und des Quecksilberkontaktwinkels [4]. Andererseits findet man bei dieser mittleren Feuchte im Porenbereich von 10 bis 50 nm ein Maximum, gemessen mit der Quecksilberporosimetrie. Die hierbei eingesetzten PASCAL-Porosimeter von ThermoFisher ermöglichen durch das simultane vertikale Befüllen des Quecksilbers bei definiertem Entgasungsdruck Messungen ohne Störung des Feuchtegehalts der Zementsteinproben (Bild 1).

Die Ergebnisse werden durch Röntgenkleinwinkelmessungen (SAXS) unterstützt [5].

Die feuchteabhängigen Änderungen der Porengröße haben Einfluss auf die Diffusion und damit auch auf chemische Reaktionen wie Karbonatisierung, wie in Bild 3 der Vergleich zum Wasserdampfdiffusionswiderstand zeigt [6]. Quellen und Schwinden sind unterhalb 50 % relativer Luftfeuchte durch eine Abnahme der Oberflächenenergie des Zement-

**Offensichtlich repräsentiert eine Porengrößenbestimmung an einem wie auch immer getrockneten Zementstein nicht die Realität.**

steins geprägt, während bei höheren Feuchten durch Kapillarkondensation in den größeren Poren Kapillar- und Spaltdruck wirken [7].

Zusammenfassend bewirken Änderungen der Luftfeuchte in der Regel starke nichtlineare Gefügeänderungen. Offensichtlich repräsentiert eine Porengrößenbestimmung an einem wie auch immer getrockneten Zementstein nicht die Realität. Zudem sind zyklische Feuchtewechsel von Interesse, da die klimatische Vorgeschichte des Zementsteins eine große Rolle spielt. Ein besseres Verständnis der Wechselwirkung zwischen Feuchte und dem nanoporösen kolloidalen Hydratsystem Zementstein sollte letztlich in der Anwendung zu einer wesentlich besseren Beständigkeit von Betonbauten beitragen.

Bild 2: Vergleich der spezifischen Oberflächen aus Neutronenkleinwinkelmessungen und der Porengrößen aus Quecksilberporosimetrie an vorgefeuchtetem Zementstein (CEMI, w/z = 0,4, 28 d) (Trocknung – Desorption).

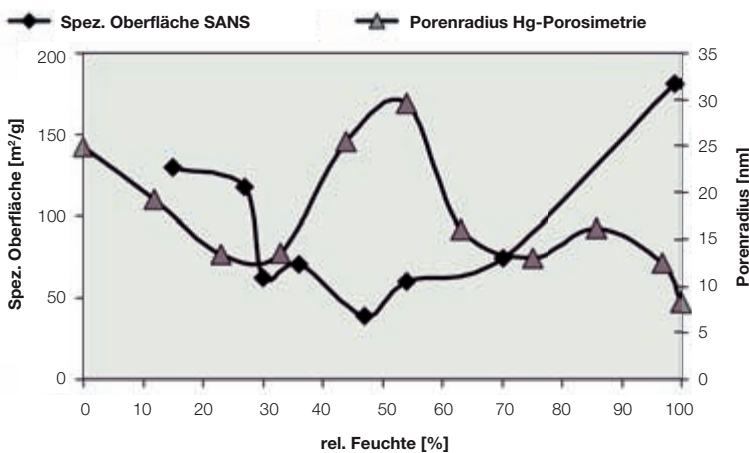
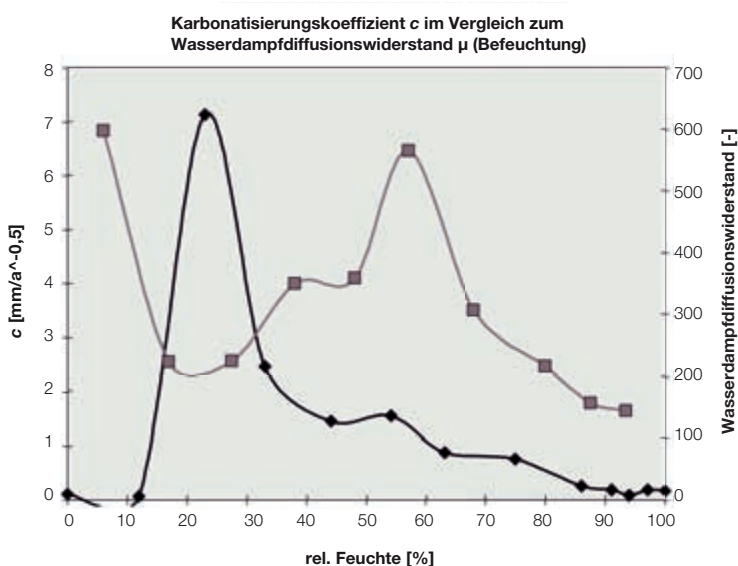


Bild 3: Vergleich des Karbonatisierungskoeffizienten c zum Wasserdampf diffusionswiderstand  $\mu$  an vorgefeuchtetem Zementstein (CEMI, w/z = 0,4, 28 d) (Befeuchtung- Adsorption).



**Literatur**

1. Adolphs, J.: „Interaction of Water Vapour with Hardened Cement Paste – Specific Effects at 30 %RH“, Restoration of Buildings and Monuments (EUROMAT 2007, edit. J. Adolphs), Vol. 14, No. 4, 2008, 251–258.
2. Adolphs, J.: „Physico – Mechanical and Chemical Properties of Hardened Cement Paste Interacting with Moisture“ RILEM Proceedings 5<sup>th</sup> International Essen Workshop – Transport in Concrete 11.–13. June 2007, 181–194.
3. Adolphs, J., Schreiber, A.: „Microstructural Characterisation of Ultra-High Performance Concrete“ Proceedings International Symposium on Ultra High Performance Concrete (eds. M. Schmidt, E. Fehling, C. Geisenhanslüke), Kassel, Germany September 13–15 2004, 265–272 (2004).
4. Adolphs, J., Heine, P., Setzer, M. J.: „Changes in Pore Structure and Mercury Contact Angle of Hardened Cement Paste Depending on Relative Humidity“, Materials and Structures Vol. 35, 477–486 (2002).
5. Adolphs, J.: „Moisture Dependence of Pore Size and Specific Surface Area of Hardened Cement Paste Determined with SAXS and Inverse Gas Chromatography“, Symposium on Brittle Matrix Composites 8 in Warsaw in October 23–25, 2006, 35–44.
6. Adolphs, J.: „Karbonatisierung in den CSH-Gelporen bei niedrigen Luftfeuchten?“, Proceedings IBAUSIL Weimar September 20–23 2006, S. 2.0611–2.0618.
7. Adolphs, J.: „Surface Energies of Hardened Cement Paste“, Materials and Structures Vol. 38, 443–448 (2005).

**Autor:**

Dr. Jürgen Adolphs  
 Porotec GmbH, Hofheim, Deutschland  
[www.porotec.de](http://www.porotec.de)