

A. Holm, M. Krus

Zerstörungsfreie Bestimmung der Salzgehaltsverteilung durch Kombination zweier Meßmethoden

Einleitung

Bei salzbelastetem Mauerwerk findet in der Regel unter natürlicher Bewitterung gleichzeitig ein Feuchte- und Salztransport statt. Beide Transportvorgänge sind nicht voneinander unabhängig, sondern beeinflussen sich gegenseitig. Zur Untersuchung dieser gekoppelten Vorgänge ist ein Meßsystem zur zerstörungsfreien Bestimmung sowohl der Wassergehaltsverteilung als auch der Salzverteilung von Vorteil. Eine analytische Bestimmung der Salzverteilung scheidet aufgrund der durch den Trocknungsprozeß hervorgerufenen Umverteilung des Salzes aus. Durch Kombination zweier kernphysikalischer Meßmethoden, kernmagnetische Resonanz (NMR) und Absorptionsmessung von γ -Strahlung, soll eine zerstörungsfreie Bestimmung der Wasser- und Salzprofile ermöglicht werden.

Meßprinzipien und Meßanlagen

Bei dieser Kombination wird ausgenützt, daß beide Meßsysteme unterschiedlich auf die Verteilung der Wasser- und Salz-moleküle reagieren. Dabei wird die Wassergehaltsverteilung mit Hilfe der bereits in [1], [2] ausführlich beschriebenen NMR-Meßanlage weitgehend unabhängig vom vorhandenen Salz bestimmt. Das Absorptionsvermögen von γ -Strahlen ist dagegen abhängig von der Wasser- und Salzverteilung. Deshalb müßte aus der Kombination dieser beiden Messungen die Salzgehaltsverteilung bestimmbar sein.

Die γ -Strahlenabsorption (eine verbreitete Methode der zerstörungsfreien Messung von Feuchteverteilungen [3], [4], [5], [6] in Feststoffen) beruht auf der Tatsache, daß Photonen aus einer radioaktiven Quelle mit Materie wechselwirken. Bei den in der γ -Absorption üblicherweise verwendeten Quellen (Am-241, Cs-137 oder Co-60) sind das die Photonenabsorption und die Comptonstreuung. Diese Wechselwirkungsprozesse sind stark energieabhängig. Deshalb verwendet man für Messungen monoenergetische Quellen. Am-241 als Strahlungsquelle mit einer niedrigen Strahlungsenergie von ca. 60 keV wird in der Meßanlage verwendet, weil es durch Wasser am effektivsten abgeschwächt wird. Die Abschwächung hängt natürlich auch vom Material und den im Porenraum befindlichen Inhaltsstoffen ab. Ist kein Salz vorhanden, läßt sich auf diese Weise der Wassergehalt bestimmen. Andernfalls erhält man den Salzlösungsgehalt.

In der γ -Absorptions-Anlage des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik sind neun übereinander angeordnete Linienquellen eingebaut. Diese Quellen bestehen aus Am-241 mit einer Gesamtaktivität von 15 GBq. Mit einem NaJ(Th)-Dünnkristall-Detektor wird die Photonenanzahl bei einer Energie von 60 keV registriert. Zwischen Quelle und Probe sowie zwischen Probe und Detektor befinden sich austauschbare Schlitzblenden. Je nach gewünschter Ortsempfindlichkeit und Intensität können 1, 2 und 3 mm Spaltbreite gewählt werden. Die Steuerung des Positionierschlittens und Meßwerterfassung erfolgt durch einen Computer.

Ermittlung des Salzgehaltes durch Kombinationsmessung

Sowohl mit NMR-Messungen als auch mit der γ -Absorption läßt sich der Wassergehalt mit guter Genauigkeit ermitteln. Während das NMR auch bei salzbelastetem Material stets nur den Wassergehalt mißt, wird bei der γ -Abschwächungsmessung sowohl die Abschwächung der Photonen auf Grund des vorhandenen Wassers als auch des Salzes gemessen. Wendet man das Abschwächungsgesetz und die Mischungsregel für ein Material mit Salz- und Wasserbelastung an, so ergibt sich dessen Salzgehalt. Zur genauen Berechnung des Salzgehaltes muß der Massenabschwächungskoeffizient des Salzes bekannt sein. Das wiederum setzt voraus, daß man weiß, welches Salz oder Salzgemisch im Stein vorliegt. Eine genaue Herleitung zur Bestimmung des Salzgehaltes aus den beiden Meßergebnissen findet man in [7] und [8].

Validierung durch Vergleich mit naßchemischer Analyse

Zur Validierung Salzgehaltsbestimmung mit Hilfe der vorgestellten Kombinationsmessung wird ein grobporiger Sandstein in einer gesättigten $MgSO_4$ -Lösung bis zur Massenkonzanz gelagert. Nach der Bestimmung der Salzgehaltsverteilung durch NMR und γ -Strahlenabsorption wird zur Überprüfung der Ergebnisse der Stein in zehn gleiche Teile zersägt und die Einzelstücke einer naßchemischen Analyse unterzogen. In Bild 1 sind die mit Hilfe dieser beiden unterschiedlichen Methoden ermittelten Salzgehalte miteinander verglichen. Es zeigt sich, daß die Salzgehalte gut übereinstimmen.

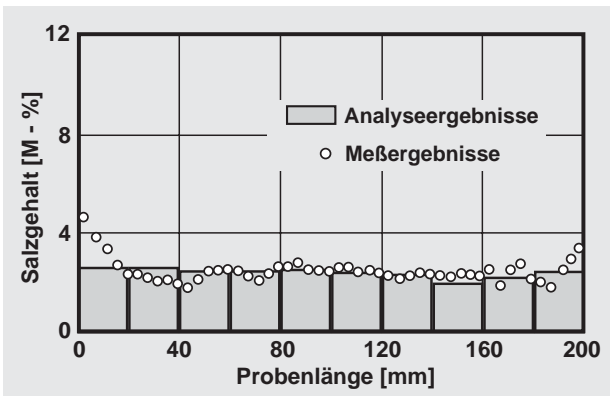


Bild 1: Vergleich der durch chemische Analyse bestimmten Salzgehaltsverteilung mit der durch die beschriebene Kombination zerstörungsfrei gemessenen.

Anwendungsbeispiel

Als Anwendungsbeispiel für diese neuartige zerstörungsfreie Salzgehaltsbestimmung soll folgender Versuch dienen. Um eindimensionale Verhältnisse zu erhalten, wird ein grobporiger Sandstein lateral wasser- und dampfdicht abgedichtet. Anschließend wird eine Stirnseite mit 100 % gesättigter NaNO_3 -Lösung in Kontakt gebracht. Nach 1, 2, 4 und 8 Stunden wird der Stein gewogen und in beiden Anlagen durchgemessen. Bild 2 zeigt die zu diesen Zeitpunkten bestimmten Wasser-, Lösungs- und Salzgehaltsverteilungen. Es zeigt sich, daß sich sowohl für den Wassergehalt als auch für den Lösungs- und Salzgehalt die gleichen Eindringtiefen ergeben. Dies bedeutet, daß kein Chromatographieeffekt, d.h. keine unterschiedliche Fortschritts- geschwindigkeit für Wasser und Salz beobachtet werden kann.

Zusammenfassung

Durch die Kombination von NMR- und γ -Strahlenabsorptionsmessungen ist eine zerstörungsfreie Bestimmung des Salzgehaltes möglich. Dabei wird ausgenutzt, daß diese beiden Meßsysteme unterschiedlich auf die Verteilung der Wasser- und Salzmoleküle reagieren. Die so ermittelten Salzgehalte stimmen sehr gut mit denen aus der naßchemischen Analyse bestimmten überein. Damit ist es erstmals zerstörungsfrei möglich, mehr Informationen über Salztransportmechanismen und dafür benötigte Kenngrößen zu erhalten, um so beispielsweise bestehende Wärme- und Feuchte-transportprogramme um den Salztransport zu erweitern.

Literatur

- [1] Krus, M., Kießl, K.: Kapillartransportkoeffizienten von Baustoffen aus NMR-Messungen. IBP-Mitteilung 16 (1989), Nr. 175.
- [2] Krus, M.: Feuchte-transport- und Speicher- koeffizienten poröser mineralischer Baustoffe. Theoretische Grundlagen und neue Meß-techniken. Dissertation Universität Stuttgart (1995).
- [3] Kober, A. und Mehlhorn, L.: Radiometrische Feuchtemessung in Bauteilen mit hoher räumlicher Auflösung. Teil 1: Grundlagen und Beschreibung der Meß- vorrichtung. Bauphysik 13 (1991), H. 2, S. 43-49.
- [4] Kober, A. und Mehlhorn, L.: Radiometrische Feuchtemessung in Bauteilen mit hoher räumlicher Auflösung. Teil 2: Erprobung der

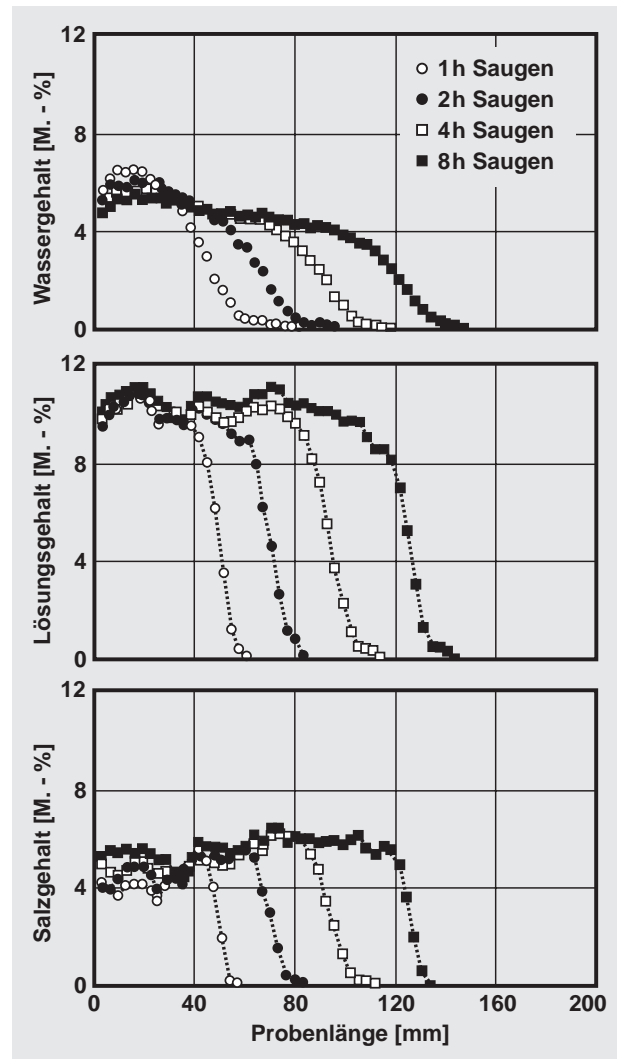


Bild 2: Verteilungsprofile während des Saugversuchs mit gesättigter NaNO_3 -Lösung an einem grobporigen Sandstein zu unterschiedlichen Zeitpunkten.

Oben: Wassergehaltsverteilungen bestimmt mit der NMR-Anlage.
Mitte: Lösungsgehaltsverteilung bestimmt mit der γ -Anlage.
Unten: Aus obigen Verteilungen berechnete Salzgehaltsverteilungen.

Meßvorrichtung und Ergebnisse. Bauphysik 16 (1994), H. 3, S. 81-85.

- [5] Freitas, V.P.: Transferencia de humidade em paredes de edificios. Dissertation Universidade do Porto (1992).
- [6] Descamps, F.: Continuum and discrete modelling of isothermal water and air transfer in porous media. Dissertation Katholieke Universiteit Leuven (1997).
- [7] Holm, A.; Krus, M.; Wardzikowski, P.: Bestimmung der Wasser- und Salzgehaltsverteilungen durch Kombination von NMR- und γ -Durchstrahlungsmessungen. 9. Feuchtetag 1997 Weimar, Proceedings, 17.-18. Sept. 1997, S. 203-217.
- [8] Wardzikowski, P.: Wasser- und Salzgehaltbestimmung durch Kombination von NMR- und γ -Durchstrahlungsmessungen. Diplomarbeit Univ. Stuttgart (1998).

Diese Untersuchungen wurden vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie finanziell unterstützt.