

14 (1987) Neue Forschungsergebnisse, kurz gefaßt

Fraunhofer-Institut für Bauphysik

K. Kießl und M. Krus

Messung von Wassergehalten und Feuchtetransportvorgängen in Baustoffen mittels kernmagnetischer Resonanz**Einleitung**

Als gebräuchliches und zuverlässiges Verfahren zur Bestimmung von Wassergehalten in Baustoffen ist bislang die gravimetrische Messung nach der Darr-Methode anzusehen. Dieses einfache und relativ genaue Verfahren erfordert jedoch einen gewissen Zeitaufwand und erlaubt Aussagen lediglich über einen momentanen Istzustand der Stoffeuchte in einer Baustoffprobe. Andere Methoden, wie z.B. elektrische Widerstands- oder Kapazitätsmessung, Mikrowellen-, Gamma- oder Neutronendurchstrahlung, beruhen auf der Messung von wassergehaltsbedingten, mehr oder weniger deutlichen Änderungen physikalischer Stoffeigenschaften und besitzen daher nur eine geringe Genauigkeit bzw. qualitativen Charakter aufgrund anderer nicht exakt definierbarer Einflüsse. Bei den Durchstrahlungsmethoden sind außerdem praktische Probleme hinsichtlich Strahlenschutz, Arbeitssicherheit und Entsorgung von Bedeutung.

Die Messung der kernmagnetischen Resonanz (Nuclear Magnetic Resonance NMR) stellt eine selektive Methode zur Bestimmung der im Probekörper vorhandenen Wasserstoffkerne dar. Diese Protonen eines bestimmten Bindungszustandes werden bei den meisten Baustoffen durch den Wassergehalt repräsentiert. Neben einer relativ hohen Genauigkeit bei hoher Meßgeschwindigkeit läßt sich auch eine gute örtliche Auflösung erreichen, so daß mit entsprechendem apparativem Aufbau auch zeitlich veränderliche Wassergehaltsverteilungen in Proben gemessen werden können.

Meßprinzip

Aufgrund der Eigenrotation besitzen positiv geladene Wasserstoffkerne ein magnetisches Moment. Legt man von außen ein permanentes Magnetfeld an, so richten sich die Kerne in diesem Feld aus. Durch Einstrahlung eines elektromagnetischen Impulses bestimmter Frequenz (Resonanzfrequenz) auf die ausgerichteten Kerne können unter Energieaufnahme Änderungen im Energieniveau induziert werden. Nach Beendigung des Impulses stellt sich unter Abgabe der aufgenommenen Energie wieder der vorherige Zustand ein. Die abgegebene Energie sowie die zur

Energieabgabe benötigte Zeit (Relaxationszeit) werden bestimmt. Sie stellen ein Maß für Bindungszustand und Anzahl der H-Kerne im betrachteten Probenvolumen und somit für den Wassergehalt dar.

Meßaufgabe und Anlagenaufbau

Das NMR-Verfahren wird zunächst im Labor zur Untersuchung der kapillaren Feuchteaufnahme von porösen Baustoffen während des Saugvorganges eingesetzt. Dabei sind örtlich und zeitlich veränderliche Feuchteverteilungen über die Längsachse einer prismenförmigen Baustoffprobe zu bestimmen, aus welchen anschließend das Eindringverhalten, die charakteristischen Kenngrößen und Flüssigkeitstransportkoeffizienten ermittelt werden können. Der Meßvorgang erfordert eine gute örtliche Auflösung und die Möglichkeit der Probenabtastung über die gesamte Probenlänge.

Zum Nachweis der Kernresonanz werden ein Magnet, der das äußere Magnetfeld erzeugt, ein Meßkopf mit Spule, die zur Einstrahlung des elektromagnetischen Impulses auf die Probe und zum Empfangen des Nutzsignals dient, und eine Steuereinheit für die Erzeugung des Impulses und die Verarbeitung des Meßsignals benötigt. Der spezielle offene Meßkopf mit kurzer Meßspule, der sich innerhalb des äußeren Magneten mit permanentem Magnetfeld befindet, wird zur Messung der Wasserverteilungen mit Hilfe eines gesteuerten Transportschlittens und samt des äußeren Magneten schrittweise über die Probe geführt. Die Probe selbst, die eine maximale Querschnittsabmessung von 30 mm haben kann, ist mit einem Wasserzufuhrsystem verbunden. Der kapillare Feuchtestrom wird dabei durch kontinuierliche Wägung des Reservoirbehälters aus dessen Masseverlust bestimmt. Er dient zur Kontrolle der in der Probe gemessenen Wasserverteilungen. **Bild 1** zeigt den schematischen Aufbau der Anlage.

Erste Ergebnisse

Die dargestellten Meßergebnisse geben - ungeachtet gewisser noch vorzunehmender Meßoptimierungen - Auskunft über Möglichkeiten und Präzision bei der Anwendung des NMR-Verfahrens zur Untersuchung kapillarer Feuchtetransportvorgänge in porösen Baustoffen. Ein Vergleich

herkömmlich gravimetrisch bestimmter und mit der NMR-Anlage an denselben Proben ermittelter Wassergehalte in **Bild 2** ergibt, daß die Meßunterschiede im Mittel hier weniger als 0,05 M.-% betragen. Das muß als "exzellente" Genauigkeit bei Feuchtemessungen angesehen werden. Die gemessenen und in **Bild 3** angegebenen Wassergehaltsverteilungen über die Probenlänge zu bestimmten Zeitpunkten während des Saugvorgangs zeigen deutlich, daß Wasser nicht in Form einer Wasserfront, sondern - theoretischen Ansätzen für das kapillare Eindringverhalten bei porösen Baustoffen mit unterschiedlichen Porengrößen voll entsprechend - in differenzierter Weise mit zeitlich und örtlich unterschiedlichen Gradienten eindringt. Trägt man die Wendepunkte der verschiedenen Verteilungskurven für den jeweiligen Meßzeitpunkt über der Wurzel der Zeit auf, so ergibt sich, wie aus **Bild 4** zu ersehen, daß die Eindringtiefe und damit auch die Wasseraufnahme (w-Wert) dem bekannten \sqrt{t} -Gesetz gehorchen. Der Knickpunkt im Geradeverlauf der \sqrt{t} -Darstellung tritt bekanntlich dann auf, wenn die Probe im Saugversuch durchfeuchtet ist. Dieser Punkt wird auch hier eindeutig nachgewiesen.

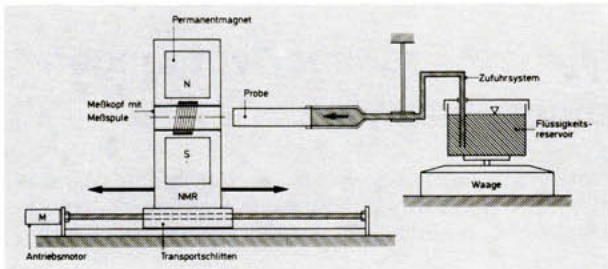


Bild 1: Schematischer Aufbau der NMR-Anlage zur Bestimmung von Wassergehaltsverteilungen in prismatischen Probekörpern während der kapillaren Wasseraufnahme.

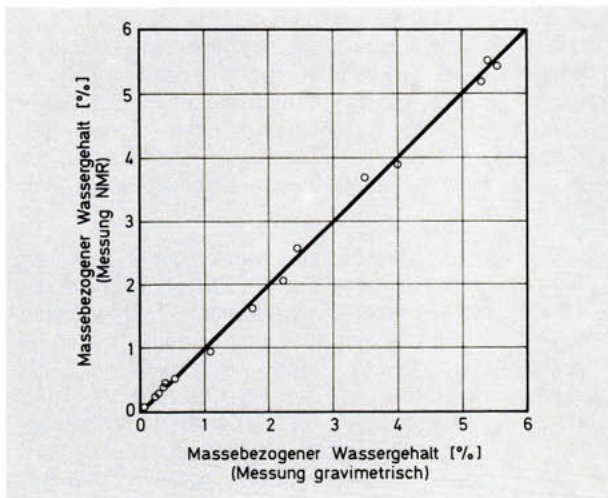


Bild 2: Gegenüberstellung von gravimetrisch bestimmten und an denselben Proben mit der NMR-Anlage ermittelten Wassergehaltswerten. Die Messungen liegen sehr nahe an der Winkelhalbierenden (45 Grad-Linie). Probenmaterial: Naturstein

Weitere Anwendungsmöglichkeiten

Neben der Bestimmung von Wassergehalten und Feuchte-transportvorgängen zeichnen sich weitere Möglichkeiten für den Einsatz des NMR-Verfahrens bei grundlegenden feuchtetechnischen Baustoffuntersuchungen ab:

- Messung des Gefrierhaltens und der Frosttiefe
- Messung von Sorptionszuständen (physikalische Feuchtebindung; freies Porenwasser)
- Messung des Eindringverhaltens von hydrophobierenden Schutzmittelsubstanzen und deren Auswirkungen auf Feuchteverteilungen im Baustoff

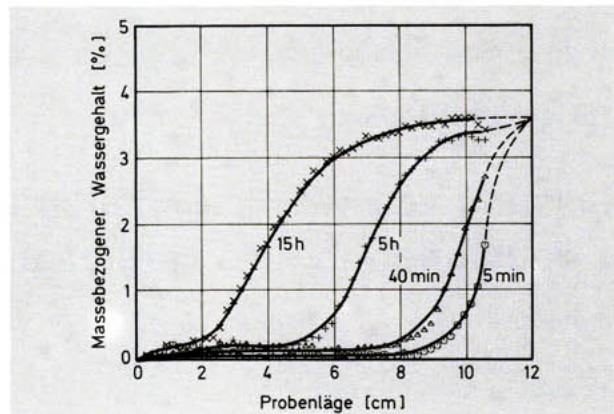


Bild 3: Gemessene Wassergehaltsverteilungen über die Länge einer Baustoffprobe zu verschiedenen Zeitpunkten während des kapillaren Saugvorganges. Probenmaterial: Naturstein

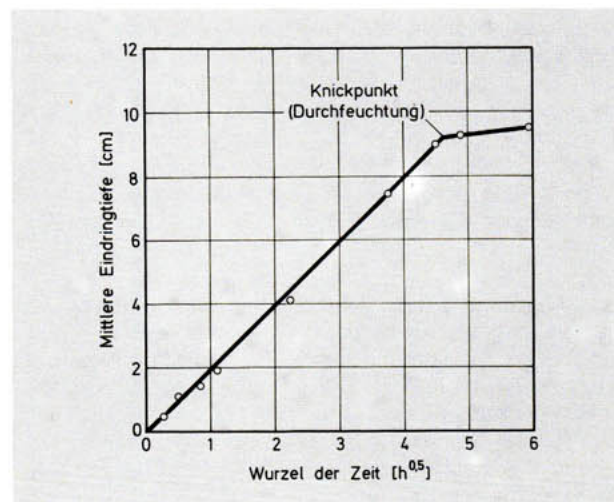


Bild 4: Mittlere Eindringtiefe (Wendepunkte der Verteilungskurven) gemäß **Bild 3** während des kapillaren Saugvorganges in Abhängigkeit von der Wurzel der Zeit. Der Knickpunkt zeigt die einsetzende Durchfeuchtung an der anderen Probenstirnseite. Probenmaterial: Naturstein

Die Anlagenentwicklung und die bisherigen Untersuchungen konnten aufgrund finanzieller Unterstützung durch das Bundesministerium für Forschung und Technologie durchgeführt werden.



FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK
7000 Stuttgart 80, Nobelstraße 12, Tel. (0711) 6868-00
8150 Holzkirchen (OBB), Postf. 1180, Tel. (08024) 643-0

Herstellung und Druck:
IRB Verlag, Informationszentrum RAUM und BAU
der Fraunhofer-Gesellschaft, Stuttgart

Nachdruck nur mit schriftlicher Genehmigung des
Fraunhofer-Instituts für Bauphysik