

Möglichkeiten und Grenzen der zerstörungsfreien Erfassung niedriger Feuchtegehalte in teilgesättigten Sandsteinen mit $^1\text{H-NMR}$

Sarah M. Nagel^a, Christoph Strangfeld^a, Sabine Kruschwitz^{a,b}

^a Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, 12205 Berlin; ^b Technische Universität Berlin, 13355 Berlin

Motivation

$^1\text{H-NMR}$ ist ein geeignetes Verfahren zur zerstörungsfreien und quantitativen Ermittlung von Feuchte in Baustoffen. Da in Hinblick auf feuchteinduzierte Schäden und Ionentransport auch insbesondere Teilsättigung in Baustoffen relevant ist, soll die Sensitivität und Eignung eines NMR-Tomographen für die Erfassung niedriger Feuchtegehalte in teilgesättigten Sandsteinen untersucht werden.

Probenmaterial

- Untersuchung von 19 Sandsteinsorten
- Erzeugung diverser Feuchtzustände: Ofentrocknung, Lagerung bei rel. Luftfeuchten (Exsikkator), Wasserbad- und Unterdrucksättigung



Bild 2: Exsikkator mit Salzlösungen, Proben und Luftfeuchtesensor; Quelle: BAM

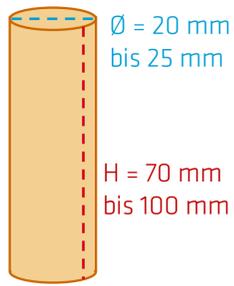


Bild 3: Skizze einer Probe

Tabelle 1: Verwendete Salzlösungen und relative Luftfeuchten

Salzlösung mit ...	relative Luftfeuchte [%]
Magnesiumchlorid	33
Magnesiumnitrat	53
Natriumchlorid	75
Kaliumchlorid	85
Ammoniumdi-hydrogenphosphat	93
Kaliumdihydrogen-phosphat	96

NMR-Tomograph^[1]

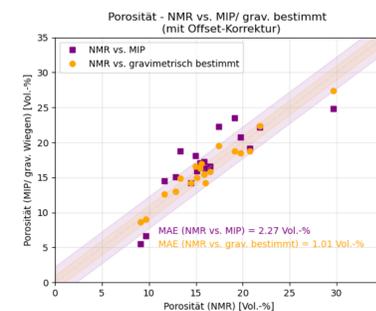


- Permanentmagnet:** 0.21 T
- Wechselbare Spulen:**
 - max. Probendurchmesser $\varnothing = 70$ mm
 - Messkonfigurationen: 0D, 1D und 3D
 - Echozeit: 50 μs bis 80 μs
- Probenlift:**

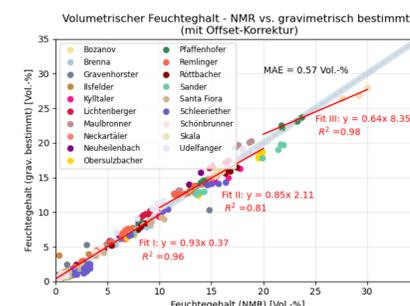
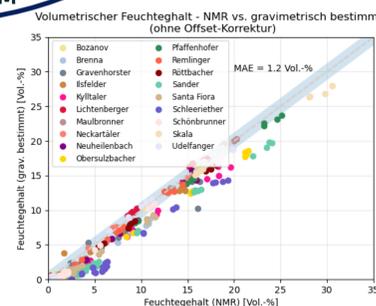
Bild 1: NMR-Tomograph an der BAM; Quelle: BAM

Ergebnisse

- Vergleich der ermittelten Porositäten Φ aus NMR, Quecksilberporosimetrie (MIP) und Wiegen
- Vergleich des volumetrischen Feuchtegehalts (aus NMR und Wägungen berechnet) zeigt einen Offset (links)



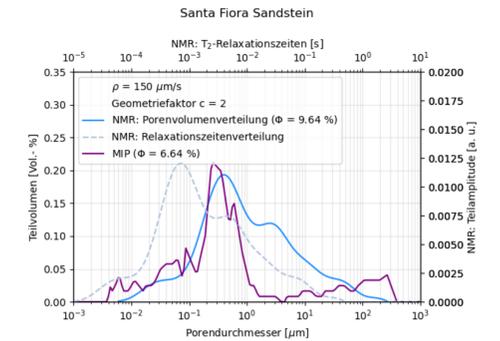
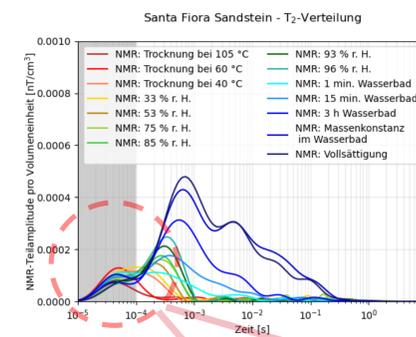
→ stärkere Abweichungen für den Vergleich mit MIP



- Geringere Abweichungen nach Offset-Korrektur (Abzug der NMR-Amplitude nach Trocknung bei 105 °C)

Kalibrierung

- T_2 -Verteilungen lassen sich mit der Oberflächenrelaxivität ρ in porengrößen-bezogene Verteilungen umrechnen^[2]
- bei Vollsättigung lässt sich ρ durch Vergleiche mit Porengrößenbestimmungen aus anderen (Referenz-)verfahren bestimmen



- Interpretation von kurzen T_2 -Relaxationszeiten und Umrechnung von T_2 -Verteilung bei niedrigen Feuchtegehalten in Porengrößen

Fragestellung

Was verursacht hier kurze T_2 -Zeiten? Vollgesättigte, kleine Poren oder teilgesättigte, große Poren? Welches ρ muss bei Teilsättigung angenommen werden? Wie lässt sich ρ für Teilsättigungen mit Zwickelwasser bestimmen?

Lösungsansatz

Berechnung der Porensättigung für individuelle Porengrößen (Ansatz von Hillerborg^[3] → gilt für Wasserfilme!) Aufsummierung der Porensättigung für die gesamte Porenvolumenverteilung ergibt eine Feuchtegehaltsverteilung, die zur Kalibrierung genutzt werden kann Hier muss ein anderer Ansatz zur Berechnung der Porensättigung genutzt werden, wie z. B. Dreiecksporen mit Restwasser (Mohnke^[4])

Challenges & Ausblick

Kontakt

sarah-mandy.nagel@bam.de
christoph.strangfeld@bam.de
sabine.kruschwitz@bam.de

Verweise

- [1] - MR-CAT: <https://www.pure-devices.com/index.php/products/products-mr-cat.html> (25.02.2020 11:00)
- [2] - Kruschwitz, S.; Halisch, M.; Dlugosch, R.; Prinz, C.: Toward a better understanding of low-frequency electrical relaxation - an enhanced pore space characterization. GEOPHYSICS, Vol. 85, Nr. 4, MR257-MR270, 2020.
- [3] - Hillerborg, A.: A modified absorption theory. Cement and Concrete Research, Vol. 15, Nr. 5, S.809-816, 1985.
- [4] - Mohnke, O.; Jorand, R.; Nordlund, C.; Klitzsch, N.: Understanding NMR relaxometry of partially water-saturated rocks. Hydrol. Earth Syst. Sci., 19, 2763-2773, 2015.