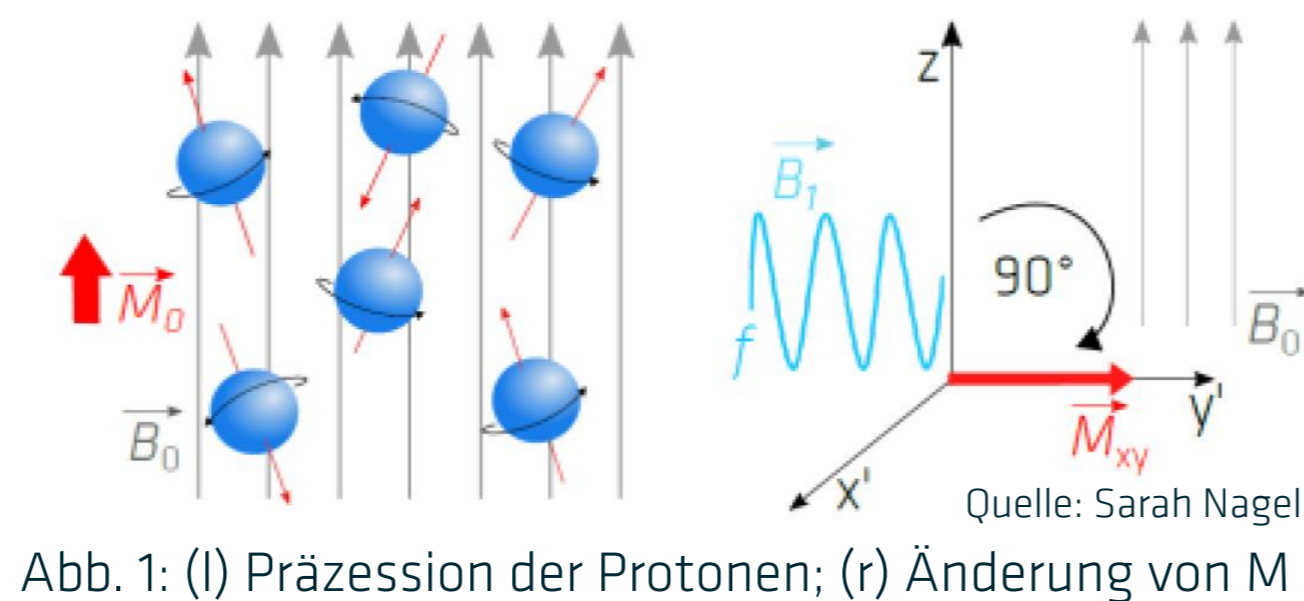


Charakterisierung eines für die Baustoffuntersuchung entwickelten NMR-Tomographen

Thilo Bintz¹, Sarah Nagel², Ludwig Stelzner², Sabine Kruschwitz^{1,2}

Messprinzip der Kernspinresonanz (NMR)^[a]

- ¹H Protonen richten sich an einem B_0 Feld aus → Magnetisierung M_0
- Protonen präzessieren um B_0 -Achse
- $M_0 \ll B_0$; M_{xy} im Mittel 0, da keine einheitliche Phase
- Elektromagnetischer Puls B_1 baut M_0 ab und synchronisiert Phasen → Aufbau von M_{xy}
- $|M|$ bleibt konstant → M_{xy} ist eigentliches Messsignal → Amplitude entspricht Wassergehalt
- Signalbestimmung mittels Spin-Echo



Der NMR-Tomograph an der BAM^[b]

- Optimiert für zerstörungsfreie Baustoffuntersuchungen
- Minimale Echozeiten von 50 μ s bis 80 μ s und Bohrkerndurchmesser bis 70 mm
- Verschiedene Spulen unterschiedlichen Durchmessers von 22 mm bis 72 mm
- Messvarianten
 - OD – Messen über gesamtes Spulenvolumen
 - 1D – Messen in eingeschränkter Schicht, senkrecht zu B_0
 - 3D – Messen in einzelnen Voxeln → Zusammensetzung zu 3D-Bild

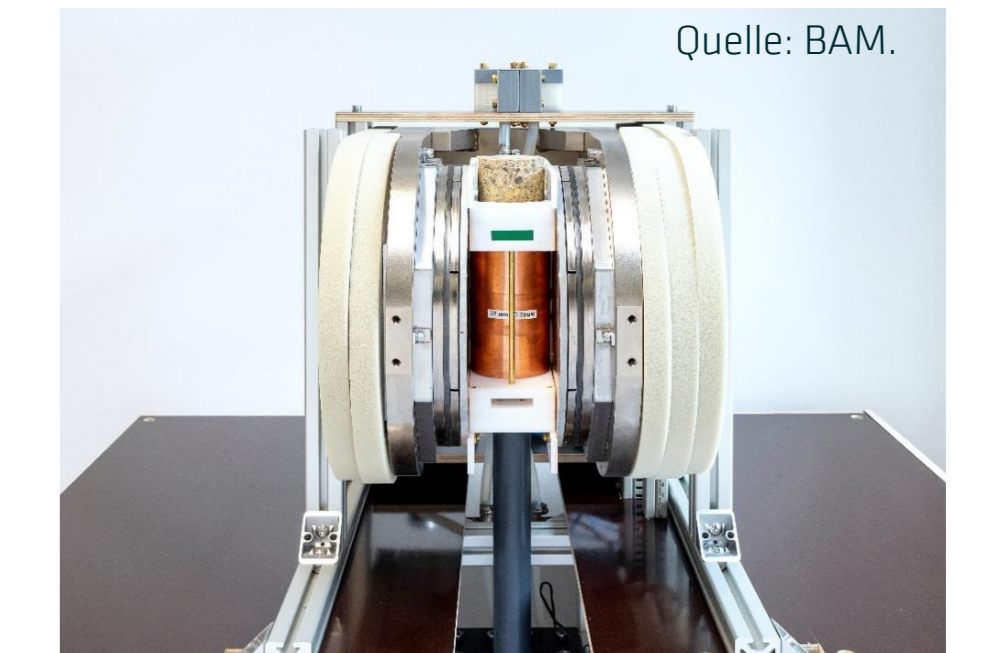


Abb. 2: NMR Tomograph Frontansicht

Temperatureinfluss

- Kurze Echozeit (70 μ s) erlaubt schnelle Pulsfolge → hoher Energieeintrag
- Energieeintrag in Probe führt zu Temperaturanstieg
- Schnell wiederholende Messungen einer Wasserprobe mit 52 mm Spule
- Temperaturbestimmung nach jeweils 5 Messungen
- Mit steigender Wiederholung → Temperaturzunahme und Amplitudenabnahme
- Linearer Zusammenhang zwischen Temperatur und Amplitude → Beschrieben durch das Curie Gesetz

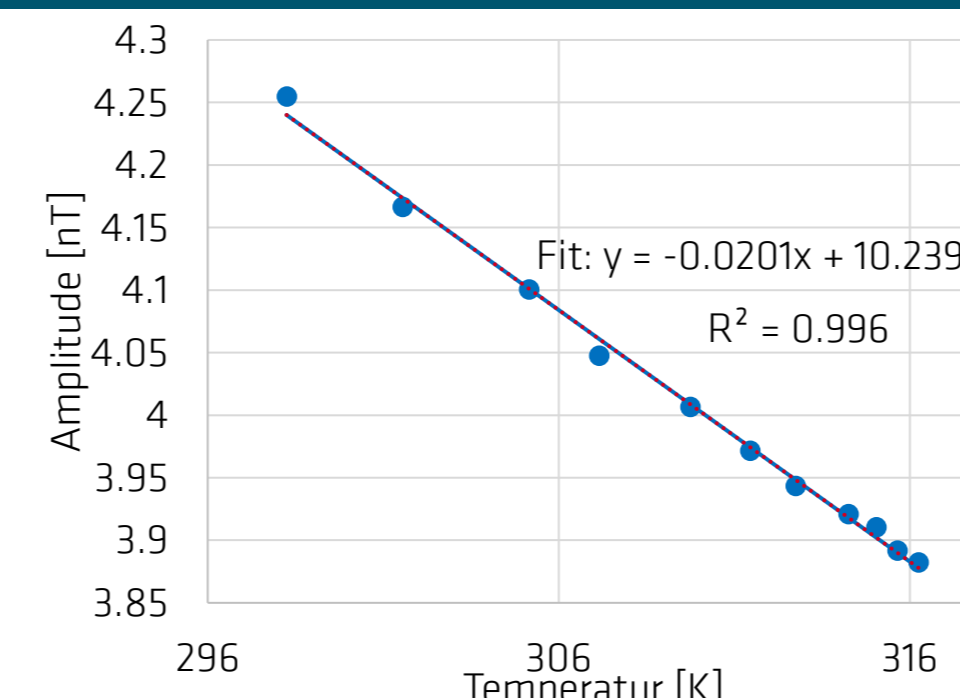


Abb. 3: Korrelation Amplitude und Temperatur

Sensitive Messbereiche

- Schichtmächtigkeit bei 1D-Messungen flexibel einstellbar → 2 mm – 20 mm
- Position der Schicht und Verteilung der Mächtigkeit wichtig für Auswertung
- Bestimmung durch dünne Fettprobe (0.5 mm) an verschiedenen Positionen
- Schichtmächtigkeit nach *full width half maximum*
- Abgebildet: 32 mm Spule – erwartet: 10 mm Schicht – bestimmt: 9.9 mm Schicht – 99%ige Übereinstimmung
- Durchschnittlich liegt die Übereinstimmung für alle Spulen und untersuchte Schichten bei über 94%

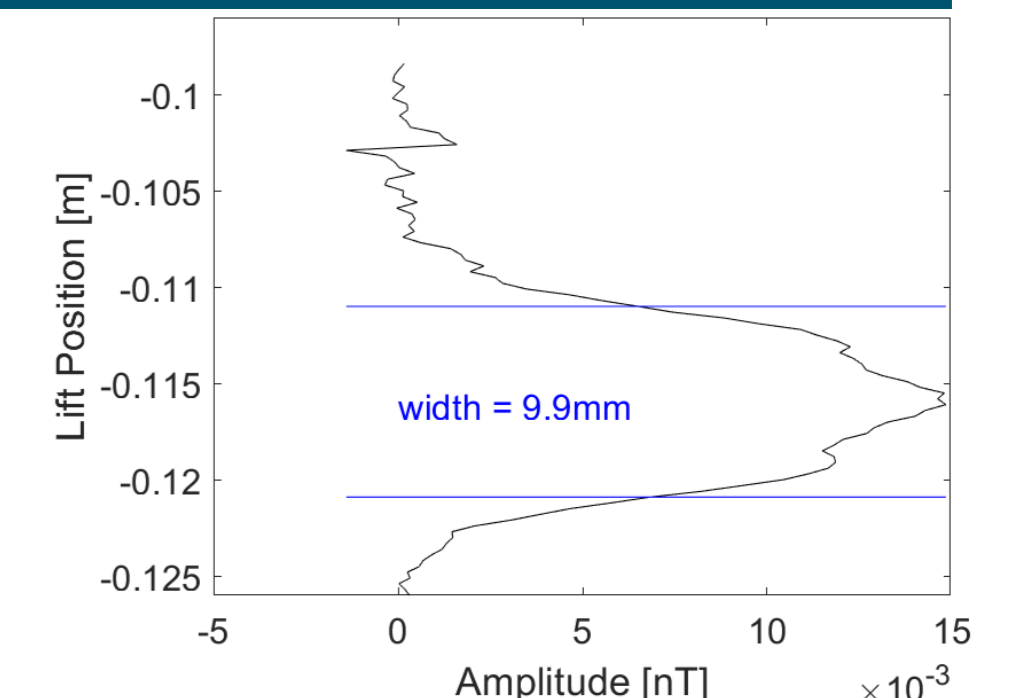


Abb. 4: Sensitive Messschicht

3D, Auflösungsvermögen

- Charakterisierung wichtig für Ergebnisinterpretation
- Abgebildet: Glaskugeln mit 7 mm Durchmesser in Wasser
- 80x32x32 mm³ Volumen, abgebildet mit 240x96x96 Voxel
- Segmentierung in Wasser- und Restsignal → Wasser einzeln darstellbar (Abb. 6)
- Auflösung von unter 0.5 mm möglich

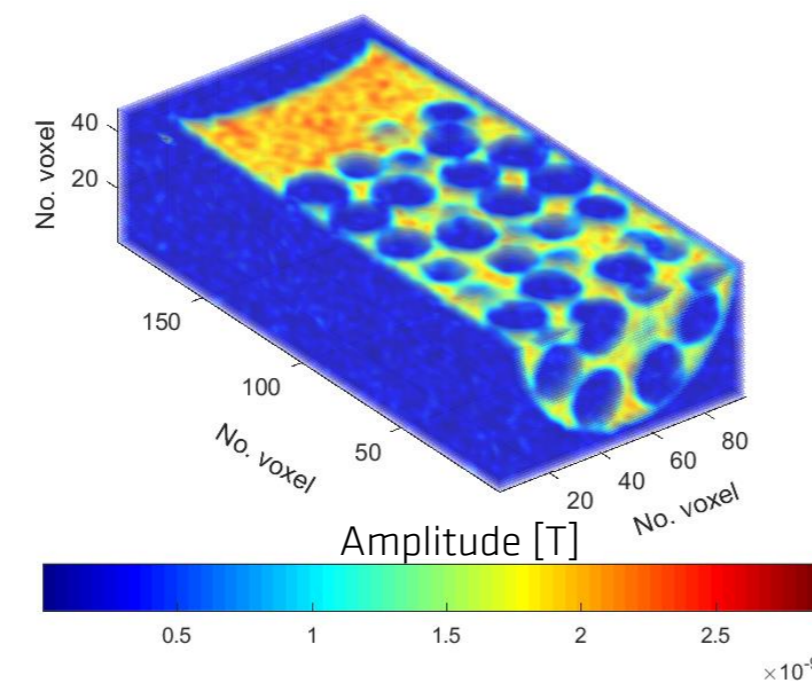


Abb. 5: Querschnitte durch Messergebnis

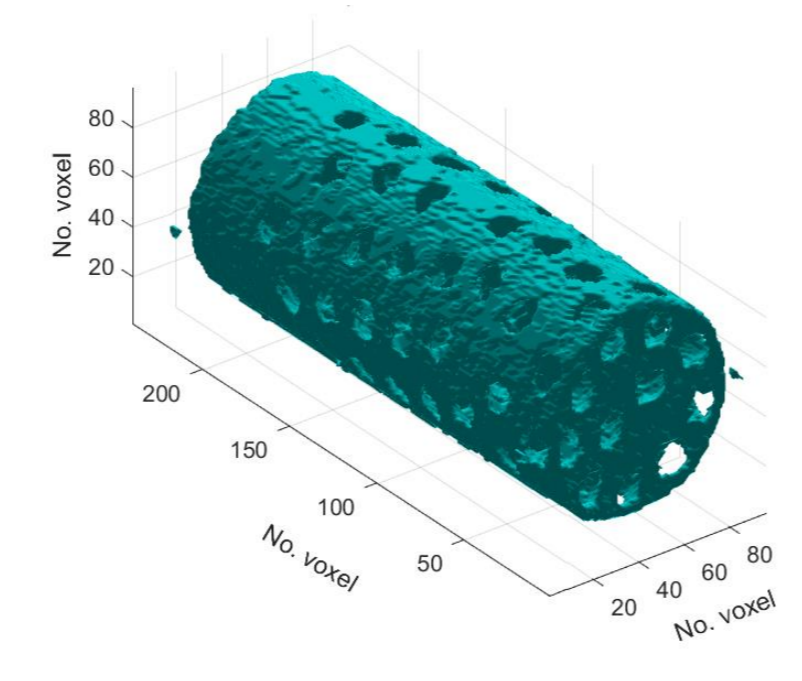


Abb. 6: Isoliertes Wassersignal

3D, Darstellung von kapillaren Saugversuchen

- Stirnseite ($\varnothing=20$ mm) verschiedener Sandsteinzylinder 5 mm in Wasser getaucht → Kapillares Saugen
- 80x32x32 mm³ Volumen, abgebildet mit 160x64x64 Voxel
- 3D-Messungen zu verschiedenen Zeitpunkten
- Abgebildet (Abb. 7) nach 3 h (links) und nach 96 h (rechts) Saugen des Neckartäler Sandsteins
- Wasserausbreitung und Strukturen innerhalb der Probe zerstörungsfrei beobachtbar

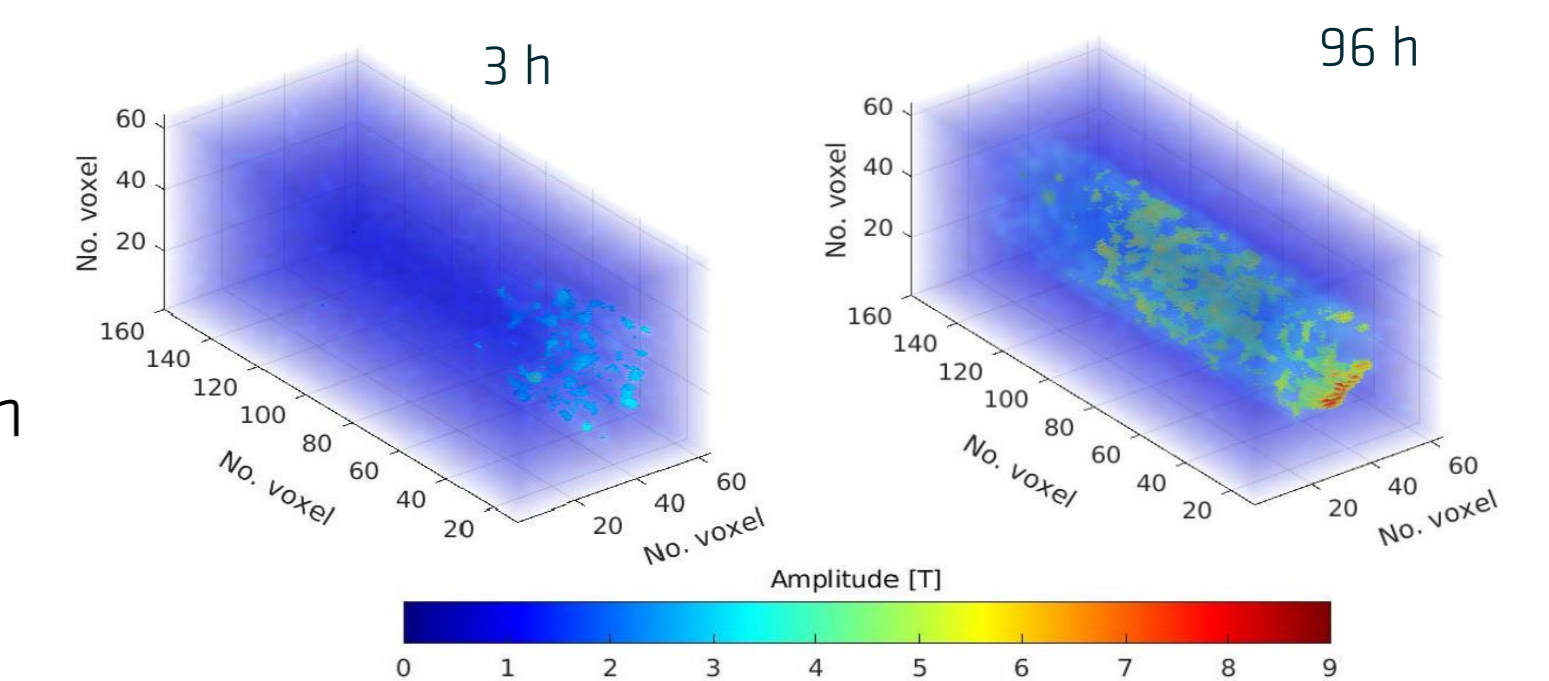


Abb. 7: Kapillares Saugen eines Sandsteins nach (l) 3 h und nach (r) 96 h

Sicherheit in Technik und Chemie

Verweise:

^[a] S. G. Allen, P. C. L. Stephenson, J. H. Strange (1997): Morphology of porous media studied by nuclear magnetic resonance

^[b] www.pure-devices.com/images/Flyer/Flyer_MR-CAT.pdf (2021)