

Korrelation der Parameter der Spektral Induzierten Polarisation und der Kernspinresonanz auf Labor- und Feldskala

M. Ronczka¹, S. Costabel², R. Kirsch⁴, U. Yaramanci^{1,3}

(1: LIAG; 2: BGR; 3: TU-Berlin; 4: Geologisches Landesamt Schleswig-Holstein)

Einleitung:

Das Verfahren der Oberflächen-Nuklear-Magnetischen-Resonanz (SNMR) kann über die Amplitude des detektierten Signals den Wassergehalt (Yaramanci and Müller-Petke, 2009) und über die Abklingzeit die hydraulische Permeabilität (Legchenko et al., 2002) des Untergrundes abschätzen. Bei der Spektralen Induzierten Polarisation (SIP) wird der scheinbare spezifische Widerstand in Abhängigkeit der Frequenz aufgenommen. Über die Amplitude und Phase des Signals können Aussagen über die Leitfähigkeit und die innere Oberfläche getroffen werden, (Radic and Weller, 1997). Die SIP-Phase ist, wie auch die NMR-Abklingzeit, abhängig von dem Porenraum, dessen Eigenschaften und vom Porenfluid, (Kruschwitz, 2008).

Folglich liegt eine gemeinsame Interpretation von SIP- und NMR-Parametern nahe. Dazu wurden Labormessungen eines Bohrkerns vom Testfeld Nauen der TU-Berlin ausgewertet und Oberflächensondierungen auf der Nordseeinsel Föhr und dem Testfeld Nauen durchgeführt. Dass eine Korrelation der Abklingzeit mit der Phase besteht, konnte durch die Laborergebnisse bestätigt werden. Aufgrund der Datenqualität ist eine Korrelation der Feldmessungen nur in Ansätzen erkennbar. Zukünftig könnte eine gemeinsame Interpretation zu verbesserten Aussagen bezüglich der Porenraumeigenschaften führen, mit dem Ausblick auf genauere Abschätzungen der hydraulischen Permeabilität.

Theoretische Überlegungen:

Voraussetzung ist, dass keine Elektrodenpolarisation auftritt und wenig bis kein Ton vorhanden ist.

	SIP	NMR	Spez. Innere Oberfläche	Durchlässigkeitsbeiwert
Feinkörniges Material (kleine Poren)	Hohe Phase: Viele aktive Zonen → Ladungsakkumulation	Kurze Abklingzeiten: Anteil der Oberflächenrelaxation am Gesamtsignal größer	Große spez. Innere Oberfläche: Bei kleiner werdenden Poren steigt das Verhältnis S/V an	Geringe hydraulische Durchlässigkeit: Viele kleine Poren bzw. Porenhälsen führen zu verringerter hydraulischer Durchlässigkeit
Grobkörniges Material (große Poren)	Niedrige Phase: Wenig aktive Zonen, kaum Akkumulation von Ladungen möglich	Lange Abklingzeiten: Anteil von freiem Wasser am Gesamtsignal größer, Oberflächenrelaxation verliert an Bedeutung	kleine spez. Innere Oberfläche: Bei größer werdenden Poren nimmt das Verhältnis S/V ab	hohe hydraulische Durchlässigkeit: große Poren bieten kaum Widerstand für einen hydraulischen Fluss

Labormessungen:

- für Korrelationen herangezogene Parameter: spezifische innere Oberfläche; T₂-Abklingzeit; Durchlässigkeitsbeiwert
- große Streuung der SIP-Phase ist unter anderem eine Folge des Messaufbaus (nicht genau definierte Kabelführung, Temperaturkonstanz usw.)
- Korrelation zw. SIP-Phase und der NMR-Abklingzeit und anderen Parametern besteht (siehe Abb.1-3)

Schicht	Tiefe [m]	Lithologie
1.	0 bis 7.0	mS
2.	7.0 bis 9.0	U, fs
3.	9.3 bis 11.2	mS, fs
4.	12.2 bis 13.7	G, ms
5.	14.2 bis 21.5	mS, fs, u ¹
6.	ab 22	U

Tab.1: aus dem Bohrkern ermittelte lithologische Abfolge des Testfeldes Nauen

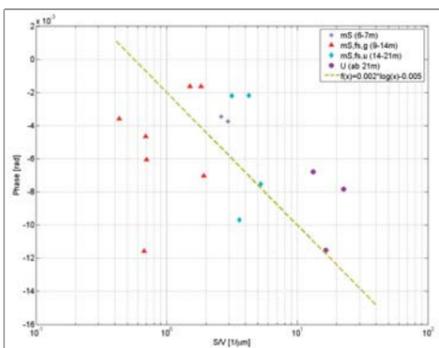


Abb.1: Korrelation der SIP-Phase mit der spezifischen inneren Oberfläche

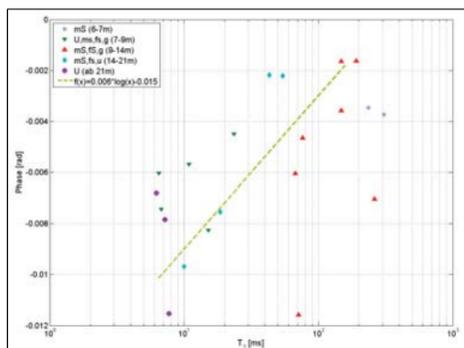


Abb.2: Korrelation der SIP-Phase mit der T₂-Abklingzeit

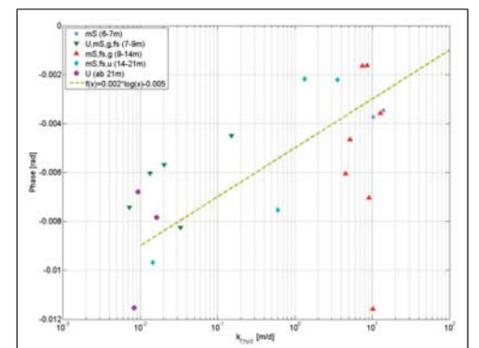


Abb.3: Korrelation der SIP-Phase mit dem Durchlässigkeitsbeiwert

Feldmessungen:

In den Abbildungen 4 und 5 ist die SIP- und SNMR-Sondierung des Testfeldes Nauen dargestellt. Die SIP-Sondierungen aus Föhr sind zu stark von induktiven beeinflusst, als dass eine sinnvolle Interpretation möglich wäre. Ein Vergleich der SIP- mit der hier durchgeführten SNMR-Sondierung ist schwierig. Als Alternative wurde eine 1993 durchgeführte SNMR-Sondierung von M. Hertrich herangezogen. Aus beiden Sondierungen wurden die Phasen bzw. Abklingzeiten für die erste Schicht (ungesättigte Zone), der dritten Schicht (Schluffhorizont) und der vierten Schicht (gesättigter Mittel-Feinsand) extrahiert und in einem Korrelationsplot dargestellt. Die positiven Phasen der zweiten Schicht wurden im Rahmen des Fehlers mit 0 rad assoziiert. Da das SNMR-Signal der Schluffschicht innerhalb der gerätebedingten Totzeit abgeklungen ist, wurde Abklingzeit auf 0,04 s gesetzt. Es kann angenommen werden, dass die SIP-Phase mit zunehmender SNMR-Abklingzeit kleiner wird. Somit ist der gleiche Trend absehbar, der auch in den Labormessungen auftritt.

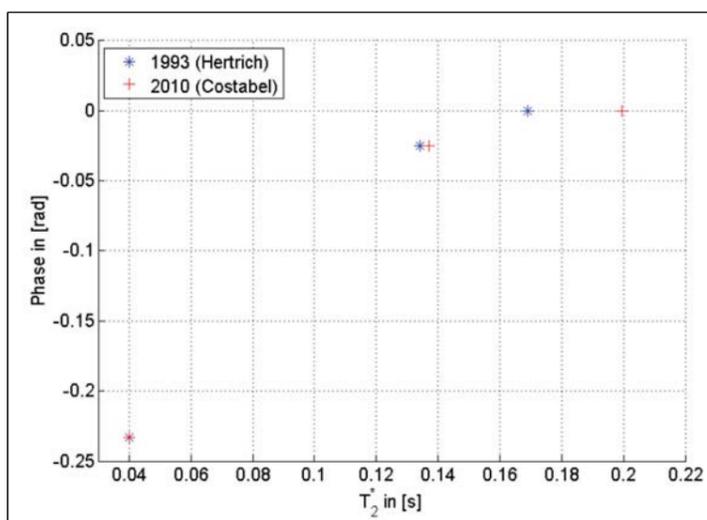


Abb.4: Korrelation der SIP-Phase mit der T₂*-Abklingzeit

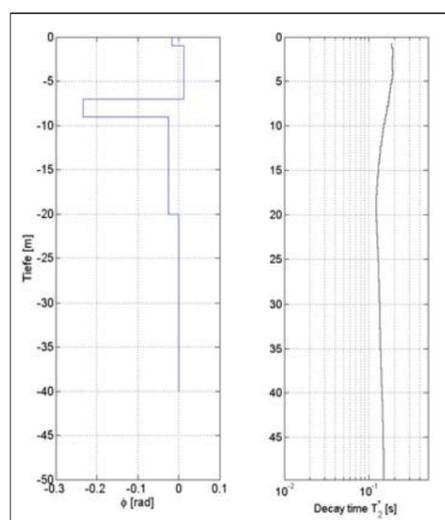


Abb.5: Tiefe über die SIP-Phase (links) und die T₂*-Abklingzeit (rechts) aufgetragen (SNMR-Sondierung von 2010)

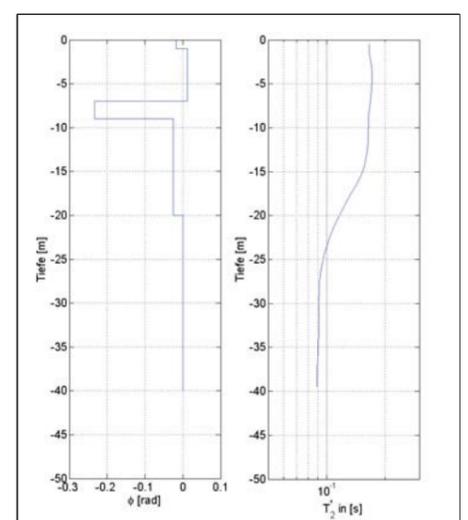


Abb.5: Tiefe über die SIP-Phase (links) und die T₂*-Abklingzeit (rechts) aufgetragen (SNMR-Sondierung von 1993)

Zusammenfassung und Ausblick:

- 1) Korrelationen in Laborergebnissen, wie anfangs vermutet, erkennbar; durch Kombination verschiedener Parameter sind bestimmte Ursachen (Mineralogie) für erhöhte Phasen bzw. reduzierte Abklingzeiten ableitbar
- 2) bei Feldmessungen aufgrund schlechter Datenqualität kaum Korrelationen erkennbar
→ Verbesserung durch: a) Reduzierung der Induktionseffekte durch verbesserte Auslagengeometrie und Datenbearbeitung
- 3) Unterschiedliche Sensitivitätsbereiche erschweren Korrelation → Angleichen der Eindringtiefe und oberflächennaher Auflösung (letzteres zielt auf SNMR ab)
- 4) können durch oben genannte Verbesserungen Korrelationen verifiziert werden, ist eine gemeinsame Inversion von SIP- und SNMR-Sondierungen denkbar

Literaturliste:

- [1] Yaramanci, U. And Müller-Petke, M. (2009). Surface nuclear magnetic resonance a unique tool for hydrogeophysics. *The leading edge*, 28:1240-1547
- [2] Legchenko, A., Baltassat, J., Beauce, A. and Bernard, J. (2002). Nuclear magnetic resonance as a geophysical tool for hydrogeologists. *Journal of Applied Geophysics*, 50:21-46
- [3] Radic, T. and Weller, A. (1997). Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten, chapter Induzierte Polarisation pages 166-206. Springer.
- [4] Kruschwitz, S. F. (2008). Assessment of the complex resistivity behavior of salt affected building materials