

Spektrale induzierte Polarisation (SIP) an Lockermaterial: Einfluss von Einbaumethodik, Feinkornanteil und Wassergehalt auf die Messergebnisse

Matthias Halisch und Andreas Weller

Einführung

Während Festgesteinsproben im Labor recht einfach zu handhaben sind, stellen Untersuchungen an Lockermaterialien höchste Anforderungen an die Probenvorbereitung und die Messtechnik. Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde ein Kalkstein-Sand-Gemisch, wie man es üblicherweise im Straßenbau findet, mittels SIP eingehend untersucht. Dabei war wichtig, reproduzierbare und untereinander vergleichbare und aussagekräftige Messergebnisse zu erzielen. Wie gezeigt wird, spiegelt dabei das "Dreigestirn" Verdichtung, Feinkornanteil und Wassergehalt die maßgeblichen Parameter wider. Als Messapparatur wurde eine SIP-Fuchs (Fa. Radic Research, Berlin) mit einer Vierelektrodenmesszelle verwendet (Abb. 1).

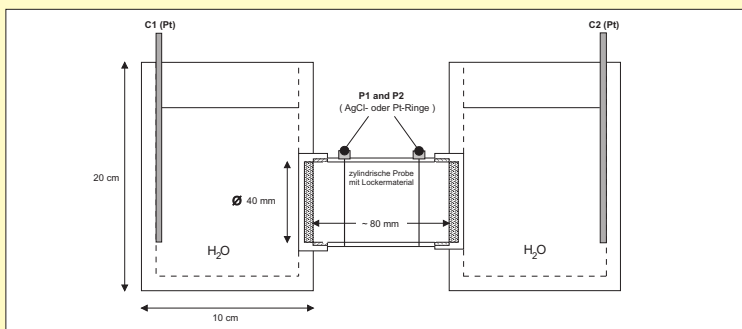


Abb. 1: Schematische Darstellung der verwendeten Vierelektrodenmesszelle für Lockermaterial (Eigenbau Institut für Geophysik).

Einfluss der Einbaumethodik

Zunächst wurden Untersuchungen durchgeführt, um die "Grundcharakteristik" des Materials festzustellen. Dazu wurde der Feinkornanteil ($< 63 \mu\text{m}$) von dem Kalkstein-Sand-Gemisch abgeschlämmt. Die erste Probenserie wurde ohne besondere Einbaumethodik, das heißt ohne besondere Verdichtung (locker) in die Probenaufnehmer eingefüllt. Es stellte sich dabei heraus, dass das Material ähnliche, aber auch zum Teil völlig unterschiedliche Phasenspektren aufwies (Abb. 2A). Durch die lockere Schüttung weist jede Probe eine unterschiedliche Anzahl an großen und kleinen Porenraumbereichen auf. Die dargestellten Phasenspektren zeigen deutlich, dass bei undefiniertem Einbau eine Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit der Ergebnisse nicht möglich ist.

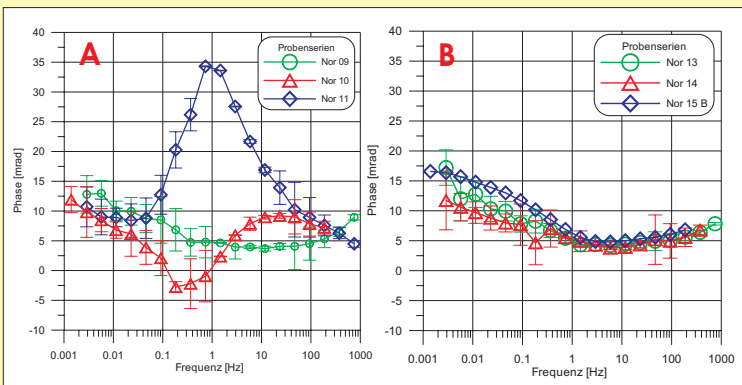


Abb. 2: Phasenspektren der ersten (Abb. 2A, locker eingebautes Material) und zweiten Probenserie (Abb. 2B, verdichtet eingebautes Material). Jede Kurve stellt den Mittelwert aus 5 Messungen dar.

Für die zweite Probenserie wurde das Kalkstein-Sand-Gemisch mit einer zuvor definierten Einbaumethodik (siehe Abstract) vorbereitet. Die daraus resultierende deutliche Verbesserung des Messergebnisses wird in Abb. 2B sichtbar. Durch diese wohldefinierte Einbaumethodik kann sich das Material gleichmäßiger einregeln, wodurch auch ein ähnlich strukturierter Porenraum bei allen Proben entsteht. Für alle nachfolgenden Untersuchungen wurde diese Art der Probenvorbereitung verwendet.

Einfluss des Feinkornanteils

Für diese Probenserien wurde der Feinkornanteil im Material in Prozentschritten (bezogen auf die Masse der Proben) erhöht: 0 % bis 10 %, 15 % und 25 % als Maximum. In Abb. 3A sind einige Phasenspektren dieser Probenserien dargestellt, um die wichtigsten Veränderungen im Phasenverhalten zu zeigen: a.) Abnahme der Phase in einem Frequenzbereich von 1 mHz bis etwa 1 Hz; b.) Ausbildung eines Phasenmaximums in einem Frequenzbereich von etwa 1 Hz bis 10 Hz; c.) Eine Abnahme der Phasenamplitude mit steigendem Feinkorngehalt im Bereich des Maximums. Mit zunehmendem Feinkornanteil wird Porenraum aufgefüllt, die Menge an großen Poren nimmt stetig ab und die Porenhälsen verengen sich. Die in Abb. 3A dargestellten Phänomene lassen sich durch den gestiegenen Feinkornanteil bzw. die Ausbildung einer neuen, dominanten Porenhalsgröße erklären.

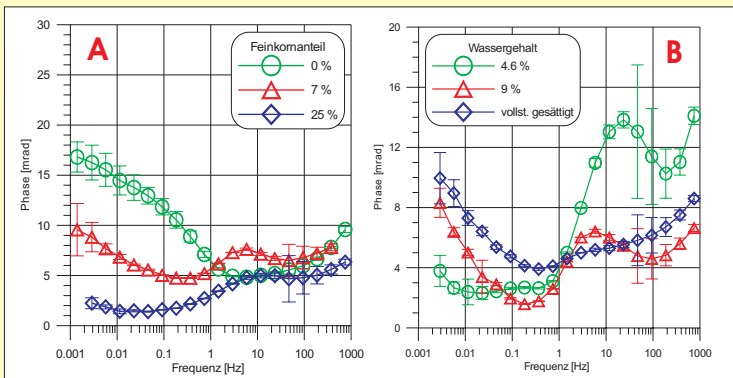


Abb. 3: Ausgewählte Phasenspektren der dritten (Abb. 3A verdichtetes Befüllen, ansteigender Feinkornanteil) und vierten Probenserie (Abb. 3B verdichtetes Befüllen, Variation des Wassergehaltes bei konstanten 5 % Feinkornanteil). Die Kurven stellen Mittelwerte aus 5 Messungen dar.

Einfluss des Wassergehaltes

Bisher wurde gezeigt, dass die Verdichtung und der Feinkornanteil des Lockermaterials bei SIP-Messungen im Labor signifikante Änderungen im Phasenverhalten verursachen, primär hervorgerufen durch die stark variierende Porengröße. Dabei waren die Proben bei allen bisherigen Untersuchungen vollständig mit Wasser gesättigt (Clausthaler Leitungswasser, Leitfähigkeit etwa 10 mS/m). Da Messungen im Labor unter "in situ" Bedingungen bezüglich Feinkorn- und Wassergehalt angestrebt werden, wurde in diesen Probenserien der Wassergehalt der Proben variiert (Abb. 3B). Bei niedrigem Wasseranteil ist scheinbar sämtliches Fluid an die Oberflächen der kleinen Porenräume gebunden, während die großen Porenräume nahezu wasserfrei sind. Mit zunehmendem Wassergehalt der Probe wird der große Porenraum mit Flüssigkeit gefüllt, so dass ein Wechsel von dominanter Oberflächenleitung zu elektrolytischer Leitung im Porenraum vollzogen wird. Betrachtungen des Imaginärteils der Leitfähigkeit untermauern diese Theorie.

Zusammenfassung und Ausblick

Es zeigte sich, dass die Probenverdichtung entscheidend für die Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit der Phasenspektren ist. Der Feinkornanteil hat maßgeblichen Einfluss auf die Ausbildung von Phasenanstiegen. Der Wassergehalt beeinflusst direkt die Größe der Phasenverschiebung. Im Hinblick auf den Austausch von Messergebnissen zwischen Institutionen ist eine Vereinheitlichung bzw. Normierung der Probenvorbereitung notwendig, da bisher bei Untersuchungen an Lockermaterialien kaum Angaben zu diesen Abhängigkeiten veröffentlicht wurden.