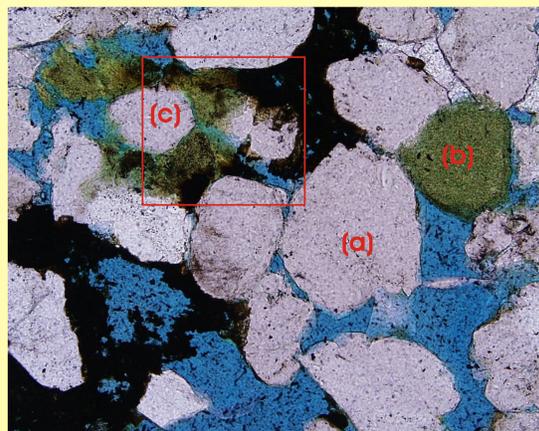


## SIP-Messungen mit unterschiedlichen Salzlösungen steigender Konzentration an Sandsteinen

Katrin Breede und Andreas Weller

### Einführung

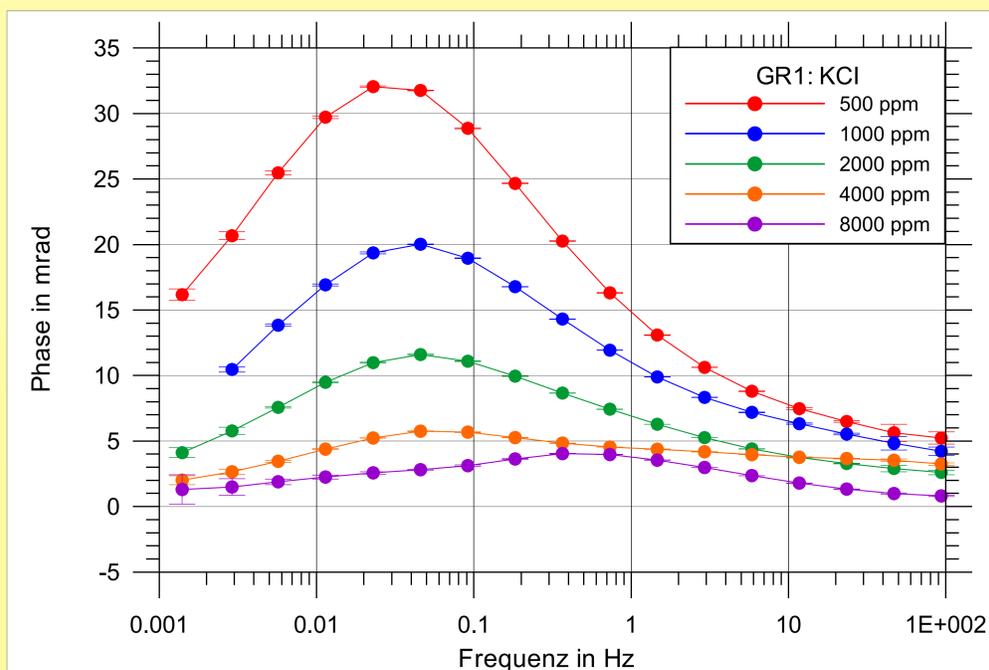
Im Rahmen eines Projektes zwischen der University of Birmingham und dem Institut für Geophysik der TU Clausthal wurden Messungen der spektralen induzierten Polarisation (SIP) mit zwei unterschiedlichen Sättigungsfluiden an Sandsteinen aus Großbritannien und Deutschland durchgeführt. Die Messungen wurden mit Clausthaler Leitungswasser und mit einer synthetisch hergestellten Lösung, welche die gleiche chemische Zusammensetzung wie das Birminghamer Grundwasser hat, durchgeführt. Im Verlauf der Untersuchungen hat sich gezeigt, dass die Leitfähigkeit des Porenfluids sowohl die Spektren des spezifischen elektrischen Widerstands als auch diejenigen der Phasenverschiebung beeinflusst. Mit zunehmender Leitfähigkeit des Porenfluids nahm der spezifische elektrische Widerstand der Probe ab. Bei der Phasenverschiebung konnte hingegen kein einheitlicher Trend für die Sandsteinproben festgestellt werden. Um die Auswirkung des Porenfluids auf die SIP-Spektren besser nachvollziehen zu können, wurden im Rahmen einer Diplomarbeit SIP-Messungen mit unterschiedlichen Salzlösungen an ausgewählten Sandsteinen durchgeführt.



**Abb. 1:** Dünnschliffaufnahme der Probe GR1. (a) Quarzkorn, (b) Glaukonitkorn, (c) Übergang von Glaukonit zu Eisenhydroxiden.

### Beschreibung der Probe GR1

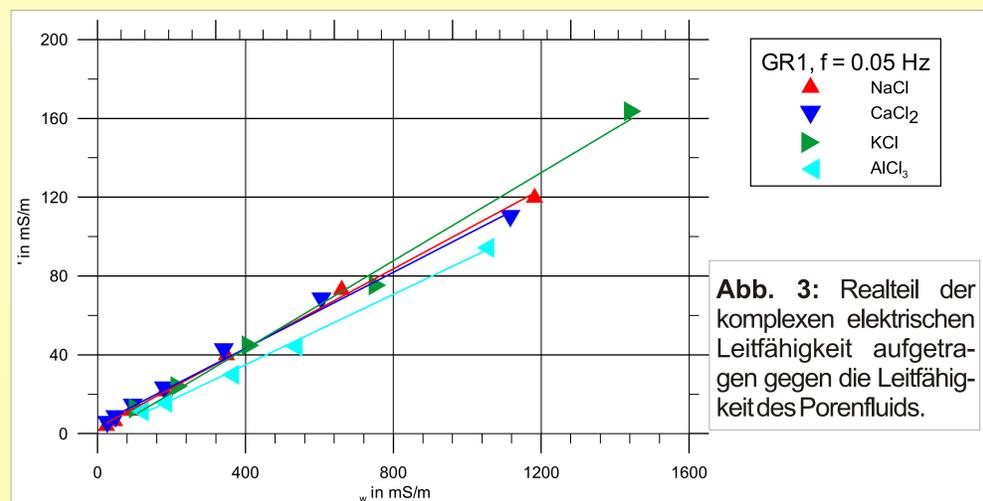
Die Messergebnisse werden anhand der Probe GR1 dargestellt. Hierbei handelt es sich um einen glaukonitführenden Grünsandstein aus der Oberkreide. Der Sandstein besteht zu etwa 90 % aus Quarz und zu 10 % aus Glaukonit (Abb. 1), welcher teilweise schon in Eisenhydroxide übergeht. Mineralogische Untersuchungen haben ergeben, dass das Gestein die Tonminerale Corrensit, Montmorillonit und Mixed-Layer Smektit-Illit enthält. Die Probe besitzt eine Porosität von etwa 25 % und eine Permeabilität von ungefähr einem Darcy.



**Abb. 2:** Phasenspektren der Probe GR1 aus Messungen mit Lösungen unterschiedlicher KCl-Konzentrationen.

### Messungen

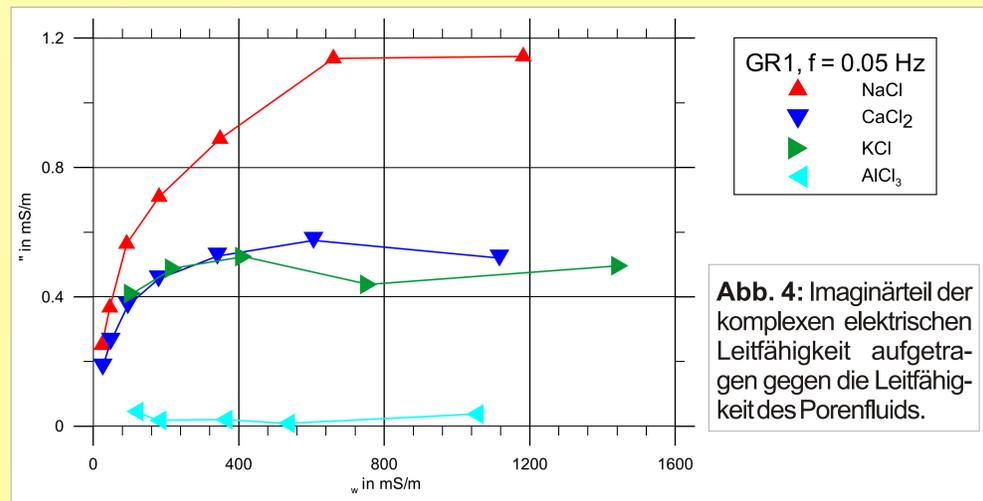
Die SIP-Messungen wurden mit Natrium-, Kalzium-, Kalium- und Aluminiumchlorid-Lösungen durchgeführt (siehe Abstract). Hierbei wurde die Konzentration schrittweise von 500 bis 8000 ppm erhöht. In Abb. 2 sind die Phasenspektren der Probe für verschiedene Kaliumchlorid-Konzentrationen dargestellt.



**Abb. 3:** Realteil der komplexen elektrischen Leitfähigkeit aufgetragen gegen die Leitfähigkeit des Porenfluids.

### Ergebnisse

Der in Abb. 3 dargestellte Verlauf des Realteils der komplexen elektrischen Leitfähigkeit in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit des Porenfluids lässt Aussagen über die Volumenleitfähigkeit, den Formationswiderstandsfaktor und die Oberflächenleitfähigkeit der Probe zu. Mit zunehmender Leitfähigkeit des Porenfluids nimmt nach ARCHIE die Volumenleitfähigkeit linear zu. Unabhängig von der Ionenart ergibt sich ein ähnlicher Formationswiderstandsfaktor. Die Gerade für die Messungen mit Aluminiumchlorid zeigt einen geringfügig kleineren Anstieg. Die Ursache dafür ist, dass Aluminiumchlorid mit Wasser zu amorphem, gelartigen Aluminiumhydroxid reagiert, das den Porenraum einengt. Der mit der Freisetzung von Wasserstoffionen verbundene Abfall des pH-Wertes von 7 auf 3,5 konnte im Sättigungsfluid nachgewiesen werden. Offensichtlich wird das Aluminiumhydroxid auf den Kornoberflächen abgelagert und damit die Oberflächenpolarisierbarkeit reduziert. Dieser Effekt wird durch Abb. 4 deutlich, die unabhängig von der Konzentration im Sättigungsfluid für Aluminiumchlorid einen nahezu verschwindenden Imaginärteil der Leitfähigkeit zeigt.



**Abb. 4:** Imaginärteil der komplexen elektrischen Leitfähigkeit aufgetragen gegen die Leitfähigkeit des Porenfluids.

Die Kurven für Kalium- und Kalziumchlorid sind im Rahmen der erzielbaren Messgenauigkeit im Real- und Imaginärteil der Leitfähigkeit kaum zu unterscheiden. Auf Grund ihres Ionenradius werden die in der Salzlösung enthaltenen Kaliumionen in die Kristallgitter der meisten Tonminerale eingebaut. Dies führt bei der untersuchten Grünsandsteinprobe dazu, dass die Beweglichkeit und folglich die Polarisierbarkeit der Kaliumionen im Gegensatz zu anderen einwertigen Ionen herabgesetzt wird.

### Zusammenfassung und Ausblick

Die Untersuchungen mit verschiedenen Ionenarten haben gezeigt, dass insbesondere der Imaginärteil der elektrischen Leitfähigkeit ein empfindlicher Indikator für den Chemismus von Porenoberflächen ist. Es lassen sich chemische Reaktionen (z.B. Ausfällungen an der Kornoberfläche) und Variationen in der Intensität der Bindung der Ionen nachweisen, für die nicht allein der Ionenradius oder die Valenz ausschlaggebend ist. In weiterführenden Untersuchungen werden andere Gesteinsproben und Ionenarten einbezogen.