

# Untersuchung von Marinen Massivsulfiden mittels SIP

Malte Lührs<sup>1</sup> und Andreas Hördt<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik, Technische Universität  
Braunschweig*

## 1 Einleitung

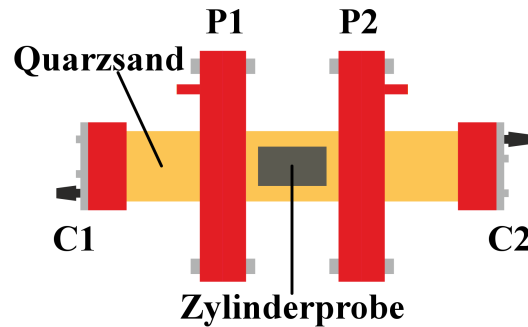
An Plattengrenzen befinden sich hydrothermale Quellen, aus denen heißes mit Sulfiden angereichertes Wasser heraus strömt. Aufgrund der dunklen Färbung des Wassers spricht man von schwarzen Rauchern. Beim Kontakt mit dem kalten Meerwasser kühlt die Lösung ab und die Sulfide werden abgeschieden. Mit der Zeit entstehen im Bereich der schwarzen Raucher Lagerstätten aus marinen Massivsulfiden (Okrusch & Matthes, 2014). Da diese für eine zukünftige Rohstoffgewinnung von Interesse sind, werden die Lagerstätten mit geophysikalischen Methoden untersucht. Aus diesem Grund wurde in einer früheren Arbeit von Spagnoli et al. (2016) ein Probensatz aus 40 zylindrischen Proben mit Spektraler Induzierter Polarisation (SIP) vermessen. Die Zylinder wurden dazu aus diversen Handstücken gebohrt, die uns vom GEOMAR in Kiel zur Verfügung gestellt worden sind. Im Rahmen dieser Arbeit soll nun untersucht werden, wie vorgegangen werden kann, wenn keine Zylinder gebohrt werden können. Dies kann zum einen der Fall sein, wenn die wertvollen Handstücke nicht beschädigt werden sollen. Zum anderen sind Sulfidproben teilweise sehr spröde, sodass es gegebenenfalls rein technisch nicht möglich ist, passende Proben zu fertigen. Aus dem Grund soll eine Methode untersucht werden, auch irregulär geformte Proben impedanzelektrisch zu vermessen.

## 2 Experiment

Bei der Messung der Induzierten Polarisation wird der komplexe Widerstand  $\rho$  gemessen. Dabei erhält man den Betrag des Widerstandes  $|\rho|$  und die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung  $\varphi$ .

Für die Messungen an zylindrischen Proben wird eine von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) entwickelte Messzelle verwendet (Kruschwitz, 2008). Die Zelle hat einen Durchmesser von 2,5 cm. In der Mitte der Zelle wird die mit Lösung gesättigte Gesteinsprobe eingebaut, wobei an die Elektroden mit derselben Lösung angekoppelt wird. Der Strom wird über zwei Elektroden am Ende der Zelle eingespeist, das Potential über zwei im Abstand von 4,1 cm befindlichen Ringelektroden gemessen.

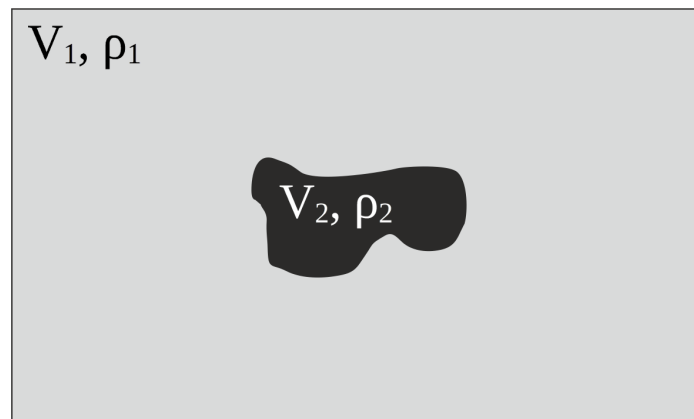
Für Lockersedimentmessungen wird eine analoge Messzelle verwendet, die einen Durchmesser von 4,2 cm hat. Das Lockersediment wird abwechselnd mit Lösung eingefüllt, wobei zwischen den Schritten durch Klopfen an der Zelle eine leichte Verdichtung des eingefüllten Materials herbeigeführt wird. Dazu wird in die Lockersedimentmesszelle Quarzsand mit einer Korngröße von 0,1 mm bis 0,4 mm eingefüllt und mittig eine der zylindrischen Proben



**Abbildung 1:** Aufbau der Messung an einer in Quarzsand eingebetteten Zylinderprobe. Über Plattenelektroden C1 und C2 an den Enden der Zelle wird ein Wechselstrom eingespeist, über Ringelektroden P1 und P2 wird das Potential gemessen. Die Zelle mit einem Durchmesser von 4,2 cm ist mit Quarzsand gefüllt, der mit Natriumchloridlösung gesättigt ist. Mittig ist die zu vermessene Sulfidprobe (Durchmesser 2,5 cm) eingebettet.

aus dem Probensatz eingebettet (Abbildung 1). Der Sand und die Probe sind mit Natriumchloridlösung mit einer Leitfähigkeit von  $1000 \mu\text{S}/\text{m}$  gesättigt. Zudem wird eine Messung am Sand ohne Probe durchgeführt, um die Phase des Sandes ( $\varphi_1$ ) separat zu vermessen. Die Ergebnisse finden sich in Kapitel 4. Als Referenz dient die Messung, in der die zylinderförmige Probe direkt in der dazugehörigen Messzelle vermessen wurde.

### 3 Theorie



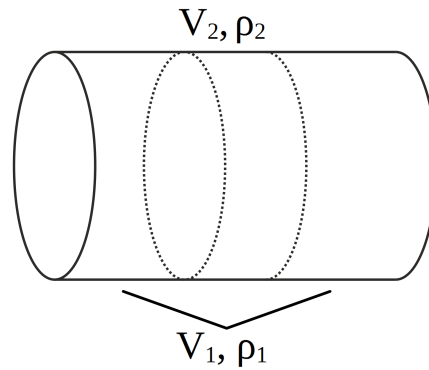
**Abbildung 2:** Vom Medium 1 mit Volumen  $V_1$  und Widerstand  $\rho_1$  umgebener Körper 2 mit  $V_2$  und  $\rho_2$ .

Bei einem von einem Medium umgebenen Körper setzt sich das gemessene Signal  $\rho_a$  aus dem Signal des umgebenen Mediums und dem des eingebetteten Körpers zusammen. Diese sollen wie in Abbildung 2 die Volumina  $V_1$  (umgebenes Medium) und  $V_2$  (eingebetteter Körper), sowie die Widerstände  $\rho_1$  und  $\rho_2$  haben. Guptasarma (1984) beschreibt den Zusammenhang über

$$\varphi_a = (1 - \operatorname{Re}(B))\varphi_1 + \operatorname{Re}(B)\varphi_2, \quad (1)$$

wobei  $\operatorname{Re}(B)$  der Realteil des von ihm eingeführten Dilutionfaktors  $B$  ist, welcher aussagt wie stark sich das eingebettete Medium auf das gemessene Signal auswirkt. Wird zudem ein nicht polarisierbares Medium verwendet, vereinfacht sich Formel 1 zu

$$\varphi_a = \frac{\partial \varrho_a}{\partial \varrho_2} = \operatorname{Re}(B)\varphi_2. \quad (2)$$



**Abbildung 3:** Für die Bestimmung des Realteils des Dilutionfaktors  $\operatorname{Re}(B)$  eingeführte Näherung. Als Abschätzung wird angenommen, dass die eingebettete Probe den Querschnitt komplett ausfüllt. Volumina und Widerstände sind analog zu Abbildung 2 benannt.

Zur Annäherung von  $\operatorname{Re}(B)$  soll für eine Näherung von einer vereinfachten Geometrie ausgegangen werden. Dafür setze sich das gesamte betrachtete Volumen  $V_0$  aus dem umgebenden Medium mit dem Volumen  $V_1$ , sowie dem Widerstand  $\varrho_1$  und der eingebetteten Probe mit dem Volumen  $V_2$  und dem Widerstand  $\varrho_2$  zusammen. Zudem soll die Probe den gesamten Querschnitt ausfüllen (Abbildung 3). So ergibt sich für den Realteil des Dilutionfaktors

$$\operatorname{Re}(B) \approx \frac{V_2}{V_0}. \quad (3)$$

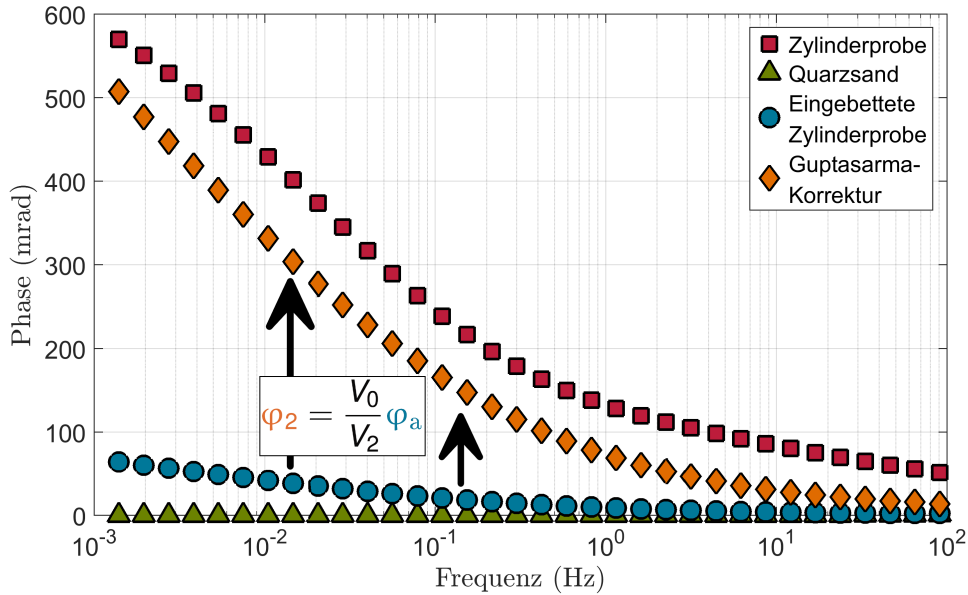
Folglich sind lediglich das Probenvolumen und das Gesamtvolumen zu bestimmen. Die Berechnung der Phase der eingebetteten Probe  $\varphi_2$  aus der gemessenen Phase  $\varphi_a$  erfolgt somit über

$$\varphi_2 = \frac{V_0}{V_2}\varphi_a. \quad (4)$$

Zu beachten ist, dass dies eine schnelle analytische Möglichkeit ist, um näherungsweise den Dilutionfaktor zu erhalten. Numerische Simulationen würden zwar genauere Lösungen geben, würden aber auch zu einem deutlich gesteigerten Aufwand führen. Daher soll hier zunächst die einfache Näherung untersucht werden.

## 4 Ergebnisse und Diskussion

Messungen an Quarzsand zeigen zunächst, dass der Sand keinen nennenswerten IP-Effekt aufweist und  $\varphi_1$  somit wie in Gleichung 2 angenommen vernachlässigt werden darf. Somit wird für die Korrektur der gemessenen Werte nach Gleichung 2 lediglich das Volumenverhältnis benötigt, das aufgrund der Zylindergeometrien von Probe und Zelle einfach berechnet werden kann und für den betrachteten Fall  $V_0/V_2 = 7,9$  beträgt.



**Abbildung 4:** Phasenverläufe der verschiedenen Messungen. In rot sind die Werte der Messung mit der Messzelle für Zylinderproben dargestellt. Die anderen Kurven stammen von Messungen mit der großen BAM-Messzelle an reinem Quarzsand (grün), an der in Quarzsand eingebetteten Zylinderprobe (blau) und die daraus resultierende Guptasarma-Korrektur (orange) nach Gleichung 4.

Wird das Volumenverhältnis mit den Werten der Messung an der eingebetteten Probe multipliziert, erhält man die Werte der orangen Kurve. Diese liegen noch unterhalb der Referenzwerte (rot). Die Abweichung weist dabei keinen konstanten Offset auf, sondern zeigt auch eine Frequenzabhängigkeit.

Die Messergebnisse zeigen, dass die korrigierten Werte näherungsweise in der Nähe der Referenzkurve liegen, die auf Guptasarma (1984) basierende Korrektur aber nicht vollständig gelingt. Dies lässt sich einerseits damit erklären, dass für den Dilutionfaktor lediglich eine Näherung nach oben genutzt wurde. Andererseits wurde hier eine mögliche Frequenzabhängigkeit zunächst außer Acht gelassen. Bei den hier vorliegenden großen Phasenverschiebungen, die für die betrachteten Sulfidproben typisch sind, muss die Frequenzabhängigkeit aber untersucht werden. Dazu soll die Korrektur in Zukunft verbessert werden, indem der Dilutionfaktor zum Beispiel auch über numerische Simulationen bestimmt wird. Trotz der beobachteten Abweichungen zeigen die Ergebnisse allerdings in jedem Fall, dass selbst mit dem hier vorgeschlagenen sehr einfachen Ansatz eine näherungsweise Korrektur bereits gelingen kann.

## Literatur

- Guptasarma, D. (1984). True and apparent spectra of buried polarizable targets. *Geophysics*, 49(2), 171.
- Kruschwitz, S. F. (2008). *Assessment of the complex resistivity behaviour of salt affected building materials*. Doktorarbeit, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM).
- Okrusch, M., & Matthes, S. (2014). *Mineralogie : Eine Einführung in die spezielle Mineralogie, Petrologie und Lagerstättenkunde* (9. Auflage ed.). Berlin u.a.: Springer Spektrum. (Access date: 2018-05-07)
- Spagnoli, G., Hannington, M., Bairlein, K., Hördt, A., Jegen, M., Petersen, S., et al. (2016, Jun 01). Electrical properties of seafloor massive sulfides. *Geo-Marine Letters*, 36(3), 235–245.