

S. GERLAND

## Zerstörungsfreie Widerstandsmessungen im Labor an marinen Sedimenten

### Motivation

Bei der Untersuchung mariner Sedimente bietet die Messung des spezifischen elektrischen Widerstandes die Möglichkeit, Rückschlüsse auf den Gehalt an Meerwasser und damit auf den Porenraum im Sediment bzw. die Porosität zu ziehen. Die Porosität wiederum ist einer der Schlüsselparameter bei der geowissenschaftlichen Betrachtung mariner Sedimente. Die meisten geowissenschaftlich relevanten Prozesse sind eng mit der Porosität verknüpft. Entsprechend wichtig ist ihre Kenntnis für die Entschlüsselung von Vorgängen wie Sedimentationsgeschichte und Diagenese.

### Apparatur und Methode

Am Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven wurden Messungen des spezifischen elektrischen Widerstandes an Sedimentkernen mit einer induktiven Methode durchgeführt. Die Methode und Messungen damit an einer Reihe von Kolbenlotkernen werden ausführlicher bei Gerland et al. (1992) vorgestellt. Die Kerne bestehen aus unverfestigten Tiefseesedimenten, deren Porenraum meerwassergefüllt ist. Sie wurden mit dem Forschungsschiff POLARSTERN gewonnen; bei der Kernnahme mit sogenannten Schwere- und Kolbenlotgeräten wird das Sediment in ein PVC-Rohr (Liner) gebracht, das dann an Bord in 1m-Segmente zerlegt und an den Enden verschlossen wird.

Die Methode kann an ungeöffneten Kernen praktiziert werden, da sie berührungslos und zerstörungsfrei arbeitet. Messungen wurden sowohl auf See als auch an Land durchgeführt. Zur eigentlichen Messung werden die Kernsegmente mittels einer schrittmotorangetriebenen Halbschale in diskreten Meßschritten durch eine Meßspule transportiert. Die Steuerung des Meßablaufs, die Datenerfassung und das Processing übernimmt ein PC mit IEEE-Karte (Abbildung 1). Die Messung eines Kernmeters in 2cm Meßschritten dauert ca. 15 Minuten.

Das Meßprinzip besteht aus einer Messung des Q-Faktors der Spule bei einer Frequenz von 2.5MHz (Scintrex, 1983). Hierzu dient ein Meßgerät vom Typ Scintrex CTU-2, das uns freundlicherweise vom KTB-Feldlabor ausgeliehen wurde. Der Q-Faktor einer Spule ist definiert mit:

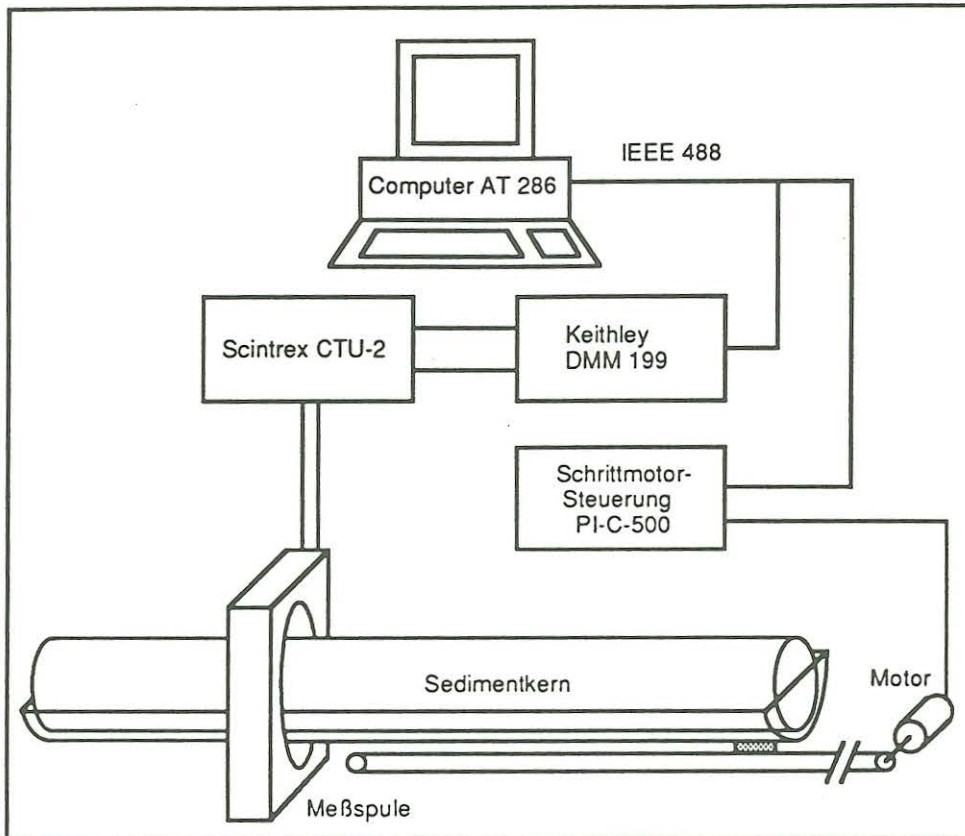


Abbildung 1: Prinzipskizze der Meßanordnung zur induktiven Messung des spezifischen elektrischen Widerstandes an Sedimentkernen.

$$Q = \frac{\omega \cdot L(\omega)}{R(\omega)} \quad (1)$$

(Chelkowski, 1980). Hierbei ist  $Q$  der Qualitätsfaktor der Spule,  $\omega$  die Meßfrequenz,  $L$  die Induktivität und  $R$  der Spulenwiderstand. Bei der genannten Meßfrequenz verändert sich nun der  $Q$ -Faktor, sobald sich ein Sedimentkern innerhalb der Spule befindet. Die Veränderung hängt mit der Vergrößerung von  $R$  zusammen; damit wird  $Q$  kleiner, da sich die Induktivität  $L$  kaum ändert. Je niedriger der spezifische Widerstand des Sediments, desto kleiner wird auch  $Q$ . Das Meßsignal am CTU-2-Gerät wächst umgekehrt proportional an. Mit Hilfe einer Kalibrierung mit mehr oder weniger stark verdünnten Meerwasserlösungen bekannter Leitfähigkeit konnte die Apparatur kalibriert werden. So waren nun Messungen absoluter spezifischer Widerstandswerte möglich. Vergleiche mit

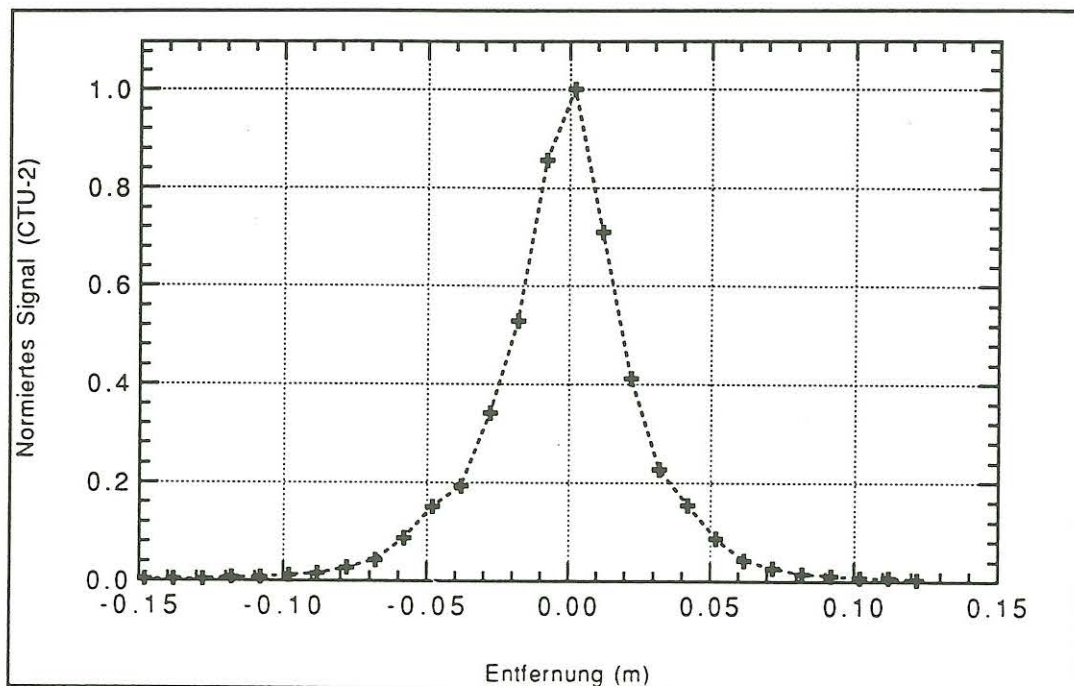
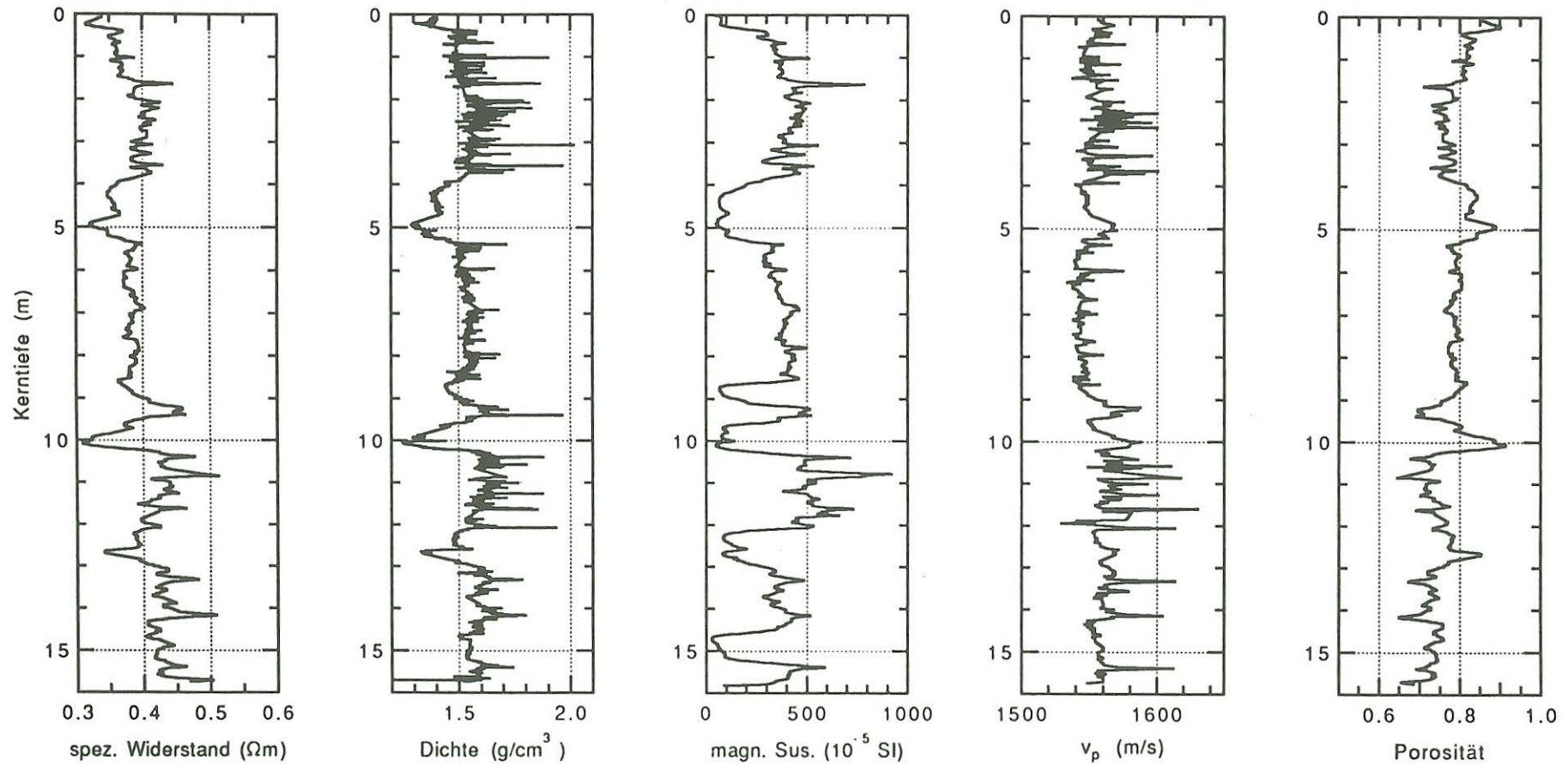


Abbildung 2: Gemessene Übertragungsfunktion der Meßspule.

galvanischen Widerstandsmessungen, die nach Kernöffnungen am Sediment direkt mittels Elektroden (4-Punkt-Anordnung) durchgeführt wurden, ergaben eine sehr gute Übereinstimmung (Gerland et al., 1992). Die räumliche Auflösung der Messung ist bestimmt durch die Spulengeometrie. Abbildung 2 zeigt eine Messung der Übertragungsfunktion, die mit einer dünnen Metallscheibe vorgenommen wurde. Die Halbwertsbreite von ca. 4cm dieser Funktion muß insbesondere dann berücksichtigt werden, wenn die Meßwerte besonders dünner Horizonte oder abrupter Schichtwechsel mit der Tiefe interpretiert werden sollen. Deshalb sind die ermittelten spezifischen Widerstände strenggenommen *scheinbare* spezifische Widerstände.

### Ergebnisse

Abbildung 3 zeigt als Beispiel links zunächst das Ergebnis einer Widerstandsmessung. Die Messungen wurden an einem Schwerlotkern (PS1821-6) aus der Antarktis vorgenommen (Ehrmann und Grobe, 1991). Deutlich sind Variationen des spezifischen Widerstands von unterschiedlicher Stärke mit der Kerntiefe zu erkennen. Hierbei kommen spezifische Widerstände von ca. 0,3 bis 0,5  $\Omega$ m vor.



**Abbildung 3:** Ergebnis der Widerstandsmessung, zusammen mit Feuchtraumdichte, magnetischer Suszeptibilität, Ultraschallwellengeschwindigkeit sowie der aus den Widerstandsdaten mit der Gleichung von Boyce berechneten Porosität.

### Bewertung und Interpretation

Die markanten Widerstandsanomalien bei Kerntiefen um 5, 10 und 12.7m korrespondieren mit hauptsächlich biogenen Sedimenten (Diatomeen, sehr hohe Porosität), die vornehmlich in Interglazialzeiten, also Warmzeiten, gebildet werden. Die dazwischenliegenden Sedimente wurden in den Glazialzeiten (Kaltzeiten) abgelagert, sie weisen überwiegend terrigene Sedimentkomponenten (niedrigere Porosität) auf. Hier sind auch die Variationen mit der Tiefe deutlich "hochfrequenter". Ein Vergleich mit weiteren sedimentphysikalischen Parametern wie Feuchtraumdichte, magnetischer Suszeptibilität und Ultraschallwellengeschwindigkeit bestätigt die bereits aus den Widerstandsmessungen ersichtlichen Charakteristiken (Abbildung 3). So zeichnen sich beispielsweise die Bereiche mit hauptsächlich biogenen Sedimenten in den Suszeptibilitätsdaten sehr deutlich ab, da hier kaum magnetische Mineralien vorliegen, so wie es bei den eher terrigenen Sedimenten der Fall ist. Der Verlauf der Dichte ähnelt dem des Widerstands deutlich, da auch die Dichte eng mit der Porosität verknüpft ist. Hier und auch bei den Geschwindigkeitsdaten kommt der Unterschied der hochfrequenten Signalanteile zwischen Warm- und Kaltzeiten besonders deutlich zum Ausdruck, da diese Parameter hochauflösender bestimmt werden können als Widerstand und Suszeptibilität.

### Berechnung der Porosität

Mit Hilfe der empirischer Gleichungen über die Beziehung zwischen Widerstand und Porosität können nun aus den Widerstandsdaten auch Porositäten berechnet werden. Entsprechende Gleichungen wurden z.B. von Archie (1942)

$$\Phi = \left( a \cdot \frac{\rho_w}{\rho_{sed}} \right)^{\left( \frac{1}{m} \right)} \quad (2)$$

und Boyce (1968)

$$\rho_{sed} = \rho_w \cdot 1.3 \cdot \Phi^{-1.45} \quad (3)$$

aufgestellt. In den Gleichungen ist  $\Phi$  die Porosität, hier definiert als Verhältnis von Porenvolumen zu Gesamtvolumen;  $\rho_{sed}$  ist der spezifische Widerstand des gesättigten

Sediments,  $\rho_w$  der spezifische Widerstand der Porenflüssigkeit, hier also des Meerwassers (bei 20°C ist das 0.209 $\Omega$ m (Dietrich et al., 1989).  $a$  und  $m$  sind empirisch ermittelte Konstanten (bei Archie ursprünglich 1 und 2). Die Gleichung von Boyce wurde speziell aus marinen Sedimentdaten ermittelt und soll hier für die Berechnung von Porositätsdaten dienen. In Abbildung 3 rechts sind die aus den induktiven Widerstandsdaten berechneten Porositäten dargestellt. Die bereits weiter oben erwähnten sehr hohen Porositäten im Bereich der Warmzeiten (0.8 bis 0.9) und niedrigeren Porositäten bei den Sedimenten aus Kaltzeiten (0.65 bis 0.8) können so nun auch quantitativ absolut ermittelt werden. Vergleiche mit an Einzelproben nach der Kernöffnung bestimmten Daten ergaben eine befriedigende Übereinstimmung (Gerland et al., 1992).

### **Ausblick**

Die gezeigte Möglichkeit, den elektrischen Widerstand an marinen Sedimenten schnell und zerstörungsfrei bestimmen zu können, stellt eine attraktive Ergänzung zu bereits etablierten Meßverfahren in der Sedimentphysik dar. Die Ergebnisse zeigen die Porositäts-Tiefenstruktur bereits vor der Öffnung eines Kerns; eine gezielte geologische Beprobung des Sedimentmaterials wird so wesentlich erleichtert. Die integrative Betrachtung und Interpretation verschiedener physikalischer Eigenschaften mariner Sedimente sollte in Zukunft verstärkt verfolgt werden, die Aussagekraft einzelner Meßgrößen kann so weiter gesteigert und das Verständnis für die physikalischen Eigenschaften insgesamt geschärft werden.

### **Danksagung**

Ich danke sehr herzlich Martina Richter, Heinrich Villinger und Gerhard Kuhn für die konstruktive und fruchtbare Zusammenarbeit im Rahmen der induktiven Widerstandsmessungen. Frank Potozki danke ich für die Durchführung der Suszeptibilitäts- und Ultraschallmessungen an Kern PS1821-6. Verschiedenen Kollegen und Kolleginnen vom Alfred-Wegener-Institut sowie der POLARSTERN-Besatzung der Expedition ANT-VIII/6 danke ich für ihre Arbeit und Hilfe, ohne die das Sedimentmaterial nicht zur Verfügung gestanden hätte.

Armin Rauen und Kollegen vom Feldlabor der Kontinentalen Tiefbohrung der Bundesrepublik Deutschland (KTB) danke ich sehr für das Ausleihen des Scintrex Gerätes sowie für viele anregende Diskussionen.

## Literatur

Archie, G.E., 1942: The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics; Trans. Am. Inst. Min. Metall. Pet. Eng. (AIME) 146, S. 54-62.

Boyce, R.E., 1968: Electrical Resistivity of Modern Marine Sediments from the Bering Sea; Journal of Geophysical Research, 73, S. 4759-4766.

Chelkowski, A., 1980: Dielectric Physics, Elsevier, Amsterdam, 396 Seiten.

Dietrich, G., Kalle, K., Krauss, W. und Siedler, G., 1989: General Oceanography, 2nd Edition, John Wiley and Sons, New York.

Ehrmann, W. und Grobe, H., 1991: Gunnerus-Rücken und Kosmonaut-Meer; in: Fütterer und Schrems (1991), S. 101-109.

Fütterer, D. K. und Schrems, O. (Hrsg.), 1991: Die Expedition ANTARKTIS-VIII mit FS "Polarstern" 1989/1990; Berichte zur Polarforschung, 90, 231 Seiten.

Gerland, S., Richter, M., Villinger, H. und Kuhn, G., 1992: Non-destructive porosity determinations of Antarctic marine sediments derived from resistivity measurements with an inductive method; Marine Geophysical Researches, im Druck.

Scintrex, 1983: CTU-2 Physical Property Testing System; Manual, Scintrex, Concord Ontario, Canada.