

Untersuchung gesteinsphysikalischer Parameter an Sedimenten von North Pond, Mittelatlantischer Rücken

Bachelorarbeit am Fachbereich Geowissenschaften
der Universität Bremen

vorgelegt von

Dirk Hellmann

2061594

Prof. Dr. Heinrich Villinger

Dr. Tilmann Schwenk

Bremen, 2009

Inhalt

1	Kurzfassung	3
2	Einleitung	5
3	Material und Methoden	9
3.1	Material	9
3.2	Methoden.....	9
3.2.1	Wärmeleitfähigkeit	10
3.2.2	Spezifischer Widerstand	10
3.2.3	Gamma-Dichte und errechnete Porosität.....	12
3.2.4	Magnetische Suszeptibilität	14
3.2.5	Messung der Porosität an Proben	14
3.3	Bearbeitung der Daten	15
4	Ergebnisse	17
4.1	Messergebnisse, vorgestellt am Kern GeoB 13501-1	17
4.1.1	MSCL-Daten	17
4.1.2	Gamma-Dichte, Porosität, Widerstand und der Wärmeleitfähigkeit vor und nach der Interpolation	18
4.1.3	Errechnete gegen gemessene Porosität	20
4.1.4	Spezifischer Widerstand gegen errechnete Porosität.....	22
4.1.5	Wärmeleitfähigkeit gegen Dichte und Porosität.....	22
4.2	Ergebnisse der Gesamtdatenbasis.....	24
4.2.1	Spezifischer Widerstand gegen errechnete Porosität.....	24
4.2.2	Wärmeleitfähigkeit gegen Gamma-Dichte und errechnete Porosität	27
4.2.3	Spezifischer Widerstand gegen Wärmeleitfähigkeit	28
4.3	Statistische Auswertung der Gesamtdatenbasis	29
4.3.1	Gamma-Dichte.....	29
4.3.2	Errechnete und gemessene Porosität.....	30
4.3.3	Spezifischer Widerstand	31
4.3.4	Wärmeleitfähigkeit.....	32
5	Diskussion.....	33
5.1	Errechnete und gemessene Porosität.....	33

5.2	Untersuchung der Gültigkeit von Archie's Law in den Sedimenten von North Pond	37
5.3	Untersuchung der Beziehung zwischen Wärmeleitfähigkeit und Porosität	39
6	Schlussfolgerungen	43
7	Danksagung	45
8	Literatur.....	47
9	Anhang	49

1 Kurzfassung

Die Porosität ist einer der wichtigsten gesteinsphysikalischer Parameter von Sedimenten. Daher werden in dieser Arbeit die Abhängigkeiten zwischen dem zentralen gesteinsphysikalischen Parameter Porosität und den Parametern Wärmeleitfähigkeit und spezifischer elektrischer Widerstand an Sedimenten von North Pond, eines Sedimentbeckens an der westlichen Flanke des Mittelatlantischen Rückens bei ca. 23°N, qualitativ und empirisch untersucht. Die Messung des spezifischen Widerstands wurde mittels eines miniaturisierten Wenner-Arrays mit einem Zentimeter Elektrodenabstand noch an Bord der FS Maria S. Merian auf der Reise MSM11/1 vom 10. Februar bis 13. März 2009 an Sedimentkernhälften durchgeführt, ebenso wie die Messung der Wärmeleitfähigkeit mit einer Nadelsonde. Die Messung der Gamma-Dichte an einem Multi Sensor Core Logger erfolgte im Rahmen dieser Arbeit und wurde wie die Messung der Porosität an Proben im Marum in Bremen durchgeführt. Die zugrundeliegende und zu untersuchende Beziehung zwischen spezifischem Widerstand und Porosität ist Archie's Law, die untersuchte Beziehung zwischen Wärmeleitfähigkeit und Porosität ist das Modell des geometrischen Mittels der Sedimentkomponenten. Die physikalische Beziehung zwischen der Porosität und den beiden Parametern spezifischer Widerstand und Wärmeleitfähigkeit konnte an den Sedimenten von North Pond bestätigt werden.

2 Einleitung

Die Kenntnis wichtiger sedimentphysikalischer Kenngrößen ist von elementarer Bedeutung für verschiedenste geowissenschaftliche Fragestellungen, sei es aus dem Bereich der Erdöl- und Erdgasindustrie, dem Bereich der Paläoklimaforschung, der Paläozeanographie oder der Paläoökologie, der Geotechnik, Hydrogeologie oder der Ingenieurgeologie. Umso wichtiger ist es Verfahren zu entwickeln, die eine schnelle, genaue und kostengünstige Bestimmung dieser Parameter ermöglichen und die zudem eine möglichst hohe Genauigkeit aufweisen und mit möglichst wenig Aufwand verbunden sein sollten.

Daher soll in dieser Arbeit die Porosität als zentraler gesteinsphysikalischer Parameter betrachtet und auf empirische Abhängigkeiten der Parameter spezifischer elektrischer Widerstand und Wärmeleitfähigkeit eines Sediments untersucht werden. Auf Grund dieser Abhängigkeiten könnte eine Abschätzung der Porosität erfolgen.

Eine zentrale Fragestellung dieser Arbeit ist es, ob eine Abschätzung der Porosität von unkonsolidierten, wassergesättigten Tiefseesedimente über die Messung des spezifischen Widerstands möglich ist. Grundlage dieser Abschätzung ist die 1942 von Archie entwickelte empirische Beziehung zwischen spezifischen Widerstand und Porosität, heute allgemein Archie's Law genannt, das immer noch eine hohe Bedeutung als zerstörungsfreie Bestimmungsmethode der Porosität und bei der Verwendung in der Bohrlochgeophysik besitzt (Archie, 1942). Archie's Law wurde als bedeutende Formulierung der Beziehung zwischen spezifischem Widerstand und Porosität von vielen Autoren umformuliert (Gerland et al., 1992). Die Messung der Porosität und der Naßdichte wurden zum Beispiel an Sedimenten der östlichen Arktis von Bergmann 1996 in Rahmen einer Dissertation beschrieben und durchgeführt.

Die Abschätzung der Porosität durch die Wärmeleitfähigkeit ist die zweite Fragestellung dieser Arbeit. Die Gesamtwärmeleitfähigkeit eines Sediments ist entschieden abhängig von den verschiedenen Bestandteilen des Sediments. Der wichtigste Bestandteil für die thermischen Eigenschaften eines wassergesättigten Sediments ist das Porenwasser selbst, weshalb eine direkte Abhängigkeit zur Porosität besteht. Brigaud und Vasseur (1989) und Goto und Matsubayashi (2008) sprachen sich, wie auch schon andere Autoren vor und nach ihnen, dafür aus, dass hauptsächlich der feste Mineralanteil und die fluide Füllung des Porenraums jeweils gewichtet mit ihrem Volumenanteil in die Gesamtwärmeleitfähigkeit eingehen. Der Volumenanteil der Porenfüllung ist eben die Porosität eines Sediments.

Die Untersuchung dieser vier Parameter Dichte, Porosität, Wärmeleitfähigkeit und spezifischer Widerstand wurde an zehn mit dem Schwerelot gewonnen Sedimentkernen von North Pond, einem

Einleitung

isolierten Sedimentbecken an der westlichen Flanke des Mittelatlantischen Rückens bei 23°N, durchgeführt. Insgesamt 14 Sedimentkerne aus Wassertiefen von ca. 4100 bis 4500 m wurden im Rahmen der Reise MSM11/1 der FS Maria S. Merian vom 10. Februar bis 13. März 2009 gewonnen. Fahrtleiter dieser Reise war Prof. Dr. Heinrich Villinger, in dessen Arbeitsgruppe an der Universität Bremen diese Arbeit verfasst wurde. Das Arbeitsgebiet dieser Fahrt, ebenso wie die Positionen der gewonnenen Kerne sind in der Karte Abb. 1 auf der nächsten Seite zusammengefasst.

Die Messung der Porosität erfolgte im Labor in Bremen im Rahmen dieser Arbeit anhand von Proben und auf Grundlage der GRAPE-Methode an einem Multi Sensor Core Logger der Firma GEOTEK, in-

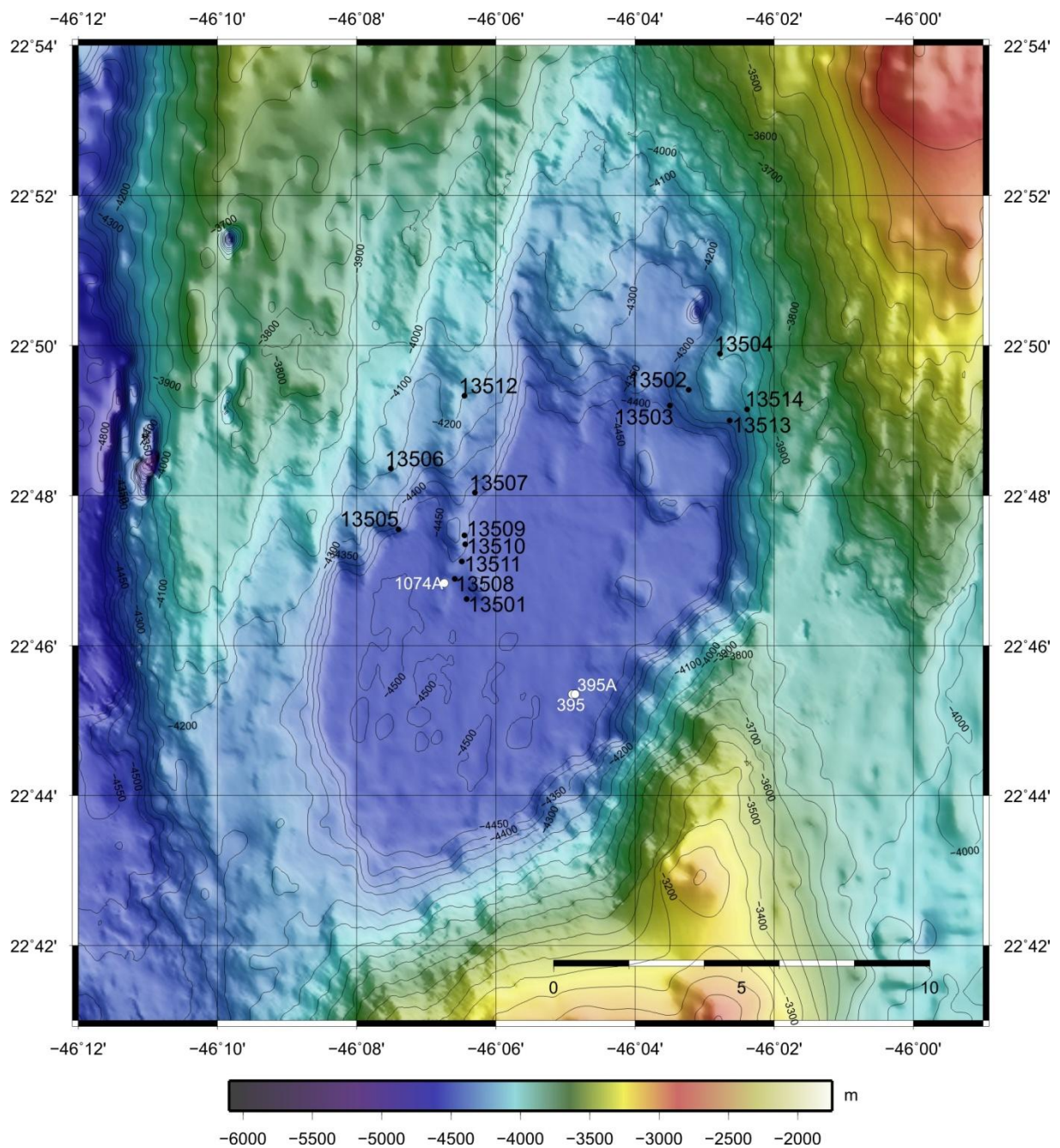


Abb. 1: Karte des Arbeitsgebiets North Pond westlich des Mittelatlantischen Rückens. In schwarz sind die Positionen der gewonnenen Schwerlotkerne mit Kernnummer eingezeichnet. Das ODP-Bohrloch 1074A des Legs 174 ist in weiß dargestellt.

Einleitung

dem zunächst die Dichte des Sediments gemessen wurde und danach unter Annahme von Werten für die Meerwasser- und Korndichte die Porosität berechnet wurde (Blum, 1997).

Die Messung der Wärmeleitfähigkeit erfolgte mit der Nadelsonden-Methode schon an Bord während der Reise. Die Messung des elektrischen Widerstands erfolgte ebenfalls noch an Bord mittels eines kleinen Wenner-Arrays.

Das zugrundeliegende Kernmaterial und die verwendeten Mess- und Auswertemethoden werden im Folgenden ausführlich mit kurzem theoretischem Hintergrund vorgestellt und erläutert. Die Auswertung der Ergebnisse wird exemplarisch an einem Kern und dann an der Gesamtdatenbasis durchgeführt um statistisch besser gesicherte Ergebnisse aufzeigen zu können. Da alle Sedimentkerne in einem sehr begrenzten Areal gewonnen wurden, besitzen diese keine lokalen Variationen, sondern weisen dieselben Sedimente auf. Daher ist es möglich die Messergebnisse zusammenzufassen. Die Ergebnisse der Auswertung werden ausführlich beschrieben und grafisch dargestellt. Abschließend werden diese mit den Ergebnissen anderer Autoren verglichen, anhand dieser kritisch beurteilt und abschließend diskutiert. Abweichungen der Ergebnisse von Literatur werden ausführliche betrachtet und mögliche Ursachen für diese in Erwägung gezogen.

3 Material und Methoden

3.1 Material

Insgesamt wurden während der Reise MSM11/1 der FS Maria S. Merian Sedimentkerne an 14 Stationen mit Hilfe von Schwereloten mit 3, 6 und 12 Metern Länge genommen. Die Kerne wurden üblicherweise in Sektionen von einem Meter aufgeteilt und diese wiederum längs in eine Arbeits- und eine Archivhälfte getrennt. Von diesen 14 Kernen wurden zehn für die folgenden Untersuchungen ausgewählt. Die Lokationen und der Kerngewinn dieser Kerne sind in Tabelle 1 dargestellt. Die genauen Kernpositionen sind ebenfalls in der Karte des Arbeitsgebiets der Reise MSM11/1 in Abb. 1 eingezeichnet.

3.2 Methoden

An den ausgewählten Schwerelotkernen wurden folgende gesteinsphysikalische Parameter gemessen: spezifischer elektrischer Widerstand, Wärmeleitfähigkeit, Dichte mit Hilfe der GRAPE-Methode (nachfolgend Gamma-Dichte genannt), Porosität, sowohl errechnet aus der Gamma-Dichte als auch an Proben gemessen, und die magnetische Suszeptibilität.

Alle vorgenommenen Messungen wurden, bis auf die Messung der Porosität an Proben, an den Archivhälften der Kerne durchgeführt. Direkt an Bord erfolgte nach einer Nacht Akklimatisierung an die Labortemperaturen die Messungen der spezifischen Widerstände und der Wärmeleitfähigkeiten. Die Messungen der Gamma-Dichte mit der GRAPE-Methode (Gamma Ray Attenuation Porosity Evaluation) und der magnetischen Suszeptibilität erfolgten im Labor in Bremen an einem Multi Sensor Core Logger (MSCL) (Blum, 1997), ebenso wie die Bestimmung der Porosität an Proben in Bremen durchgeführt wurde.

Tabelle 1: Lokationen und Kerngewinn der ausgewählten und bearbeiteten Schwerelotkerne

Kernnummer	Schwerelottyp	Breite	Länge	Wassertiefe (m)	Kerngewinn (cm)
GeoB 13501-1	GC (12 m)	22° 46,62' N	46° 6,42' W	4480	844
GeoB 13502-1	GC (12 m)	22° 49,41' N	46° 3,23' W	4250	847
GeoB 13503-1	GC (12 m)	22° 49,20' N	46° 3,50' W	4365	496
GeoB 13506-1	GC (6 m)	22° 48,36' N	46° 7,51' W	4143	574
GeoB 13507-1	GC (12 m)	22° 48,04' N	46° 6,30' W	4395	865
GeoB 13508-1	GC (6 m)	22° 46,89' N	46° 6,59' W	4475	344
GeoB 13509-1	GC (3 m)	22° 47,47' N	46° 6,45' W	4438	261
GeoB 13510-1	GC (6 m)	22° 47,35' N	46° 6,44' W	4448	515
GeoB 13511-1	GC (6 m)	22° 47,12' N	46° 6,49' W	4445	468
GeoB 13513-1	GC (6 m)	22° 49,00' N	46° 2,64' W	4262	503

3.2.1 Wärmeleitfähigkeit

Die Messung der Wärmeleitfähigkeit wurde mit dem Messgerät KD2Pro (Abb. 2, Produktwebsite des Herstellers: <http://www.decagon.com/thermal/kd2pro/>) durchgeführt, das auf der Nadelsonden-Methode basiert. Der Hersteller gibt die Genauigkeit dieser Messung mit 5% an. Die Messung wurde, soweit möglich, alle 25 cm durchgeführt. Es wurde eine 6 cm lange Nadel vom Typ KS-1 zur Messung verwendet.

Bei der Nadelsonden-Methode wird eine dünne Nadel, die einen Heizdraht und einen Temperatursensor enthält, so in eine Probe eingeführt, dass ein guter thermischer Kontakt zwischen Nadel und Probenmaterial besteht. Dann wird die Nadel kontinuierlich aufgeheizt und der Temperaturanstieg des Materials in der Nadelsonde gemessen. Aus einem physikalisch-mathematischen Modell wird aus dem gemessenen Temperaturanstieg die Wärmeleitfähigkeit des Probenmaterials errechnet (Von Herzen und Maxwell, 1959).



Nach einer persönlichen Mitteilung von Herrn Villinger ergab sich aus früheren Kalib-

Abb. 2: Verwendetes Wärmeleitfähigkeitsmessgerät KD2Pro, Abbildung von: <http://www.decagon.com/thermal/kd2pro/>

rierungsmessungen in Gelatine bekannter Wärmeleitfähigkeit für die verwendete Messapparatur bei der Verwendung der 10cm-Nadelsonde TR-1 eine systematische Abweichung der gemessenen Wärmeleitfähigkeiten vom zu erwartenden Wert. Die Apparatur blieb demnach ca. 5% unter den zu erwartenden Wärmeleitfähigkeiten, bei der 6cm-Nadelsonde KS-1 sind es ca. 3% Abweichung zu kleineren Werten, die 30mm-Doppelnadel SH-1 ergibt die besten Werte mit nahezu keiner Abweichung. Diese systematischen Abweichungen müssen bei der Auswertung der Daten zusätzlich zum vom Hersteller angegebenen Fehler von 5% berücksichtigt werden.

3.2.2 Spezifischer Widerstand

Die Messung des spezifischen Widerstands wurde an derselben Stelle wie die Messung der Wärmeleitfähigkeit ebenfalls in einem Abstand von 25cm mit einem Vier-Elektroden-Array in Wenner-Konfiguration durchgeführt (Musset und Khan, 2000). Der Elektrodenabstand beträgt dabei 1cm. Das Messinstrument 4point light 10W der Firma Littmann Geophysikalische Messgeräte (Homepage des Herstellers: <http://www.l-gm.de>) in Abb. 3, das auch für konventionelle Sondierungen benutzt wird,

Material und Methoden

misst sowohl die in-phase- als auch die out-of-phase-Komponente des mit dem angelegten niederfrequenten Wechselstrom einer Frequenz von 4,16Hz alternierende Potentialfelds. Das Verhältnis dieser Komponenten lässt Rückschlüsse auf den Ton-Gehalt des Sediments zu, wird aber bei der Untersuchung des spezifischen Widerstands in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet. Zur Berechnung des spezifischen Widerstand nach

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot \frac{U}{I} \quad (\text{Gl. 1})$$

mit dem spezifischen Widerstand ρ , mit $a=0,01\text{m}$ als Elektrodenabstand für die Wenner-Konfiguration und dem Strom I , wurde nur die in-phase-Komponente der Spannung für U verwendet. Der angelegte Strom beträgt für alle ausgewählten Sedimentkerne $I=15\text{ mA}$, außer am Sedimentkern GeoB 13503-1 mit $I=5\text{ mA}$. Die so errechneten spezifischen Widerstände wurden durch einen Korrekturfaktor von 1,44 nach einer persönlichen Mitteilung von Herrn Jahnke berichtigt.



Abb. 3: Verwendetes Messgerät 4point light 10W der Firma L-GM mit miniaturisiertem Wenner-Array

Der Fehler der Messungen beträgt hier für die gemessenen Spannungen 10%. Dieser relativ große Fehler kommt vermutlich durch einen angelegten Strom konstanter Stromstärke bei der Messung zustande. Das Gerät kalibriert die Stromstärke durch viele Mehrfachmessungen normalerweise auf eine für die Messverhältnisse ideale Stromstärke, so dass der Fehler weit unter 1% geht. Da das Gerät aber bei der Messung an Bord mit

einer Schnittstelle vom Computer aus gesteuert wurde, wurde ein gleichbleibender Strom für hundert Messungen an einem Messpunkt benutzt. Außerdem wurden die Messungen zum Teil mit einer falschen Konfiguration des Meßgeräts gemacht, was zu systematisch zu niedrigem spezifischen Widerstand führte. Dieses wurde aber erst bei der Auswertung der Messwerte in Bremen bemerkt und durch nachträgliche Kalbrierungsmessungen ein Korrekturfaktor von 1,79 ermittelt. Die mit falscher Konfiguration gemessenen Werte wurden um diesen Faktor korrigiert.

3.2.3 Gamma-Dichte und errechnete Porosität

Die Messungen der Gamma-Dichte und der magnetischen Suszeptibilität erfolgten am Multi Sensor Core Logger der Firma GEOTEK im Marum in Bremen im Rahmen dieser Arbeit (Blum, 1997).

Die Kerne wurden vor der Messung über Nacht an die Raumtemperatur des Labors angeglichen. Die einzelnen Sektionen von ca. 1m Länge wurden nacheinander auf die Track-Bank gelegt und gemessen. Um Randeffekte bei den Übergängen von Sektion zu Sektion möglichst gering zu halten, wurden die Endkappen der Liner für die Messungen am MSCL abgenommen. Durch die zusätzliche Abschwächung der Plastikendkappen wäre es ansonsten zu falsch gemessenen zu hohen Dichte-Werten gekommen. Außerdem wurden die Kernoberflächen zuvor geglättet, um ein optimales Messergebnis zu erhalten, und mit einer sehr dünnen Folie bedeckt, um die Verschleppung von Material in andere Kerntiefen und die Verschmutzung der Messgeräte zu vermeiden. Dabei wurde darauf geachtet keine Luft zwischen Folie und Sediment einzuschließen, um das Messergebnis nicht durch solche Luft einschüsse zu verfälschen. Unregelmäßigkeiten im Sedimentkern, wie z.B. Lücken im Sediment oder eingefügte Schaumstoffstücke wurden während der Messung dokumentiert.

Zur Messung der Gamma-Dichte ist eine Gamma-Quelle aus Cäsium-137 mit einer Photonenenergie von ca. 0,662 MeV oberhalb eines Gamma-Detektors so an der Track-Bank angebracht, dass die Gamma-Quelle und -Detektor ober- und unterhalb des Kerns liegen. Die Gamma-Quelle besitzt zwei verschiedene Kollimatoren mit 2,5mm und 5mm Öffnung, um einen verschieden breiten Gammastrahl zu erzeugen, der den Kern durchdringt und auf der anderen Seite vom Detektor gezählt werden kann. Bei der Messung wurde der schmalere 2,5mm-Kollimator benutzt. Der größere Kollimator mit 5mm wird nur für Auflösungen im Bereich von 5mm und kleiner empfohlen um die Zählzeiten für gute Messergebnisse zu minimieren. Gemessen wurde mit einer Auflösung von 2cm und einer Zählzeit des Detektors von 8s.

Der Detektor registriert nur Photonen einer Energie von 0,662 MeV, also der Ausgangsenergie der Photonenquelle, da die Messung der Gamma-Dichte auf der Strahlungsabschwächung durch Compton-Streuung beruht. Dabei werden die einfallenden Gamma-Photonen an den Elektronen im Kern gestreut und verlieren dabei einen Teil ihrer Energie, es werden also nur ungestreute Photonen vom Detektor gezählt. Die Zählrate der ungestreuten Photonen-Strahlung, also die Strahlungsintensität I nach Durchdringen des Kerns, ist daher Proportional zur Elektronendichte und damit zur Dichte des Sediments nach:

$$d = \frac{1}{\mu * D} * \ln \frac{I_0}{I} \quad (\text{Gl.2}),$$

Material und Methoden

mit der Gamma-Dichte d , der Intensität I nach durchdringen des Sedimentkerns als Zählrate pro Zeit, der Intensität der Strahlungsquelle I_0 , dem Compton-Abschwächungskoeffizient μ und der Kerndicke D .

Die Kalibrierung der Messung, bei der auch die Abschwächung der Strahlung durch den Liner, in dem sich der Sedimentkern befindet, berücksichtigt wird, erfolgt durch die Messung eines Aluminium-Halbstandards in einem halben Standard-Liner, wie er bei GeoB-Kernen verwendet wird. Für diesen Standard werden nun Zählraten bei den verschiedenen Aluminium-Dicken und einer Zählzeit von 10s aufgenommen. Die Dichten werden berechnet nach:

$$d_{AV} = \frac{D_{Al}}{D} * d_{Al} + \frac{D-D_{Al}}{D} * d_{Wasser} = \frac{D_{Al}}{D} * d_{Al} \quad (Gl.3)$$

Mit der durchschnittlichen Dichte d_{AV} , der Dicke des Aluminium D_{Al} der Gesamtkerndicke D und der Dichte von Wasser d_{Wasser} und Aluminium d_{Al} . Da hier allein mit dem Aluminium-Standard in einem Liner kalibriert wurde, fällt der Term zur Berechnung des Anteils des Wassers weg. Dann wurde $d_{AV} * D$ gegen $\ln I$ aufgetragen und nach dem Zusammenhang $y = Ax^2 + Bx + C$ mit $y = \ln I$ und $x = d_{AV} * D$ die drei Kalibrationsfaktoren A, B und C durch lineare Regression errechnet. Nach dieser empirischen Kalibrierung und Korrektur wurde die Gamma-Dichte d_{GD} dann nach

$$\ln(GA) = A * (d_{GD} * D)^2 + B * (d_{GD} * D) + C \quad (Gl.4)$$

berechnet mit der gemessenen Zählrate GA nach Durchdringen des Sedimentkerns inklusive des Liners. Diese Kalibrierungen wurden an allen vier Messtagen einmalig vor Messbeginn durchgeführt und sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Kalibrationsfaktoren der vier Messtage

Messung	A	B	C
03. Jun 09	$-4 * 10^{-5}$	-0,0729	8,8267
04. Jun 09	$-5 * 10^{-5}$	-0,0746	8,8161
05. Jun 09	$-2 * 10^{-4}$	-0,0698	8,8074
09. Jun 09	$-3 * 10^{-5}$	-0,0742	8,8018

Da die Kerndicke eine große Rolle für die Berechnung der Gamma-Dichte spielt, wurde diese direkt am MSCL mit gemessen und konnte so sofort zur Berechnung der Gamma-Dichte benutzt werden. Die Kerndicke wurde mit einem Wegmessgerät gemessen, das wie schon die Messung der Gamma-Dichte mit dem GeoB-Standard auf eine Referenzdicke von RCT=6,25cm (der halbe Liner-Durchmesser) eingestellt wurde. Die Liner-Wandstärke für den Standard beträgt $W=0,3$ cm und wurde auch an den Linern der gemessenen Kerne überprüft. Der Wegmesser misst nun die Abweichung CTD (Core Thickness Deviation) in mm der Kerndicke vom GeoB-Standard und die Kerndicke D in cm berechnet sich aus

$$D = RCT - W + \frac{CTD}{10} \quad (Gl.5).$$

Nach der Messung der Gamma-Dichte ρ_{GD} und der Kerndicke d wurde im Schritt danach die Porosität nach

$$\phi_{\text{calc}} = \frac{d_m - d_{GD}}{d_m - d_f} \quad (Gl.6)$$

mit der Korndichte $d_m = 2,75 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ und der Dichte des Fluids $d_f = 1,026 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ berechnet (GEOTEK MSCL Manual, 2000; Weber et al., 1997; Blum, 1997). Die Korndichte entspricht hier terrigenem Material. Das Sediment wurde als wassergesättigt betrachtet und das Fluid als Meerwasser bei einer Temperatur von 20°C angenommen (Breitzke, 2000).

3.2.4 Magnetische Suszeptibilität

Ebenfalls am MSCL wurden die magnetischen Suszeptibilitäten der ausgewählten Sedimentkerne mittels eines Punktsensors der Firma Bartington (MS2E) gemessen. Der Punktsensor bietet eine höhere räumliche Auflösung, ist aber sehr temperaturempfindlich und weniger empfindlich als ein Ringsensor. Daher sind eine konstante Labortemperatur und eine an die Labortemperatur angegliche Sedimenttemperatur unerlässlich. Der Punktsensor wird zur Messung direkt auf die durch die dünne Folie geschützte Sedimentoberfläche abgesenkt. Er erzeugt bei der Messung ein alternierendes Magnetfeld konstanter Frequenz, welche durch induzierte Magnetisierung von Material mit einer magnetischen Suszeptibilität verändert wird. Diese Änderung in der Frequenz wird durch die Elektronik in einen Wert der magnetischen Suszeptibilität des Sediments umgerechnet und ausgegeben (GEOTEK MSCL Manual, 2000).

Die Auflösung der Messung liegt hier ebenfalls bei 2cm. Die Messung der magnetischen Suszeptibilitäten spielt für die Fragestellung dieser Arbeit aber im Weiteren keine Rolle, sei der Vollständigkeit halber aber hier genannt.

3.2.5 Messung der Porosität an Proben

Die Messung der Porosität erfolgte hier an Proben eines definierten Volumens um 3 mL. Diese wurden mit einer offenen Spritze dem Kern entnommen, das Volumen wurde mittels des Stempels der Spritze gemessen. Die Proben wurden in Glas- oder Plastikfläschchen luftdicht versiegelt bei 4°C bis zur Messung in Bremen aufbewahrt. Die Proben wurden zunächst in ihrem ursprünglichen Zustand, also wassergesättigt, mit dem Fläschchen zusammen gewogen. Aus der Differenz zwischen der Masse des gefüllten leeren Fläschchens lässt sich die Nassmasse bestimmen. Aus der Nassmasse und dem Gesamtprobenvolumen kann so die Nassdichte errechnet werden. Nach dem Wiegen wurden die Proben in Glasfläschchen dann bei einer konstanten Temperatur von 105°C über einen Zeitraum von 24 Stunden im Ofen getrocknet. Bei dieser Temperatur und Trocknungsdauer verdampft eigent-

lich nur das Porenwasser, das Kristallwasser der Minerale bleibt erhalten. Die Proben in Plastikfläschchen wurden gefriergetrocknet. Dazu wurden die Proben zunächst für 24 Stunden bei -20°C eingefroren und dann in eine auf -58°C gekühlte Vakuum-Kammer gegeben. Die Proben wurden in dieser gefriergetrocknet bis ein Vakuum von 0,25 mbar erreicht wurde. Die Dauer der Gefriertrocknung betrug je nach Wassergehalt 48 bis 72 Stunden. Die getrockneten Proben wurden dann in einem Desiccator auf Zimmertemperatur gebracht und wieder gewogen. Die Massendifferenz wird als Porenwasser, das Sediment daher als vollständig wassergesättigt, angenommen. Aus der Dichte für Meerwasser bei 20°C von $1,024\text{ g/cm}^3$ bei einer angenommenen Salinität von 34psu und der Massendifferenz kann nun der Volumenanteil der Porenfüllung errechnet werden. Das Verhältnis des Porenvolumens zum Gesamtvolumen vor der Trocknung ergibt die Porosität des Sediments (Blum, 1997).

3.3 Bearbeitung der Daten

Die gemessenen Daten wurden zunächst als Rohdatenplot dargestellt um sich einen Überblick über die gesammelten Datensätze der zehn ausgewählten Schwerlotkerne zu verschaffen. Dabei wurden schon die genannten Korrekturen angewandt.

Die erste Auffälligkeit bei den am MSCL gemessenen Daten, waren Fehlmessungen beim Übergang von einer Kernsektion zur anderen. Es trat eine plötzliche Abweichung der Gamma-Dichte und der daraus errechneten Porosität um die Sektionswechsel um einige Zehnerprozent auf. Ähnliches gilt bei der magnetischen Suszeptibilität. Da diese Bereiche eindeutig fehlerbehaftet sind, wurden sie für die spätere Bearbeitung, z.B. der Interpolation auf eine gemeinsame Tiefenskala, aus dem Datensatz entfernt und zwar drei Datenpunkte an den Sektionswechseln. Diese Bereiche wurden kenntlich gemacht.

Bei den Werten des spezifischen Widerstands und der Wärmeleitfähigkeit traten solche Probleme nicht auf, da sie ja nur in 25 cm-Abständen gemessen wurden und dabei Sektionswechsel berücksichtigt werden konnten. Daher sind diese Werte nicht von solchen Randeffekten beeinflusst und mussten hinsichtlich dieser nicht korrigiert werden.

Danach wurden die MSCL-Daten und die Daten der Wärmeleitfähigkeit und des spezifischen Widerstands auf eine gemeinsame Tiefenskala mit einem Inkrement von 0,2m interpoliert, da diese in verschiedenen Auflösungen vorlagen und nicht gegeneinander aufgetragen und ausgewertet werden konnten, weil nur Werte der gleichen Tiefe miteinander verglichen werden können. Um Artefakte durch Ausreißer bei der Interpolation zu verhindern, wurde vorher eine Plausibilitätsprüfung der Werte vorgenommen. Die Kriterien dieser Prüfung sind in Tabelle 3 dargestellt. Die Werte wurden so gewählt, dass nach der Sichtung der Rohdaten eindeutig als fehlerhaft bewertete Datenpunkte aller

Material und Methoden

Kerne möglichst aus dem Datensatz entfernt wurden. Die Werte der Wärmeleitfähigkeit wurden nach physikalischen Grenzen gewählt, so beträgt z.B. die Wärmeleitfähigkeit des Meerwassers 0,6 W/m*K und von Quarz 7,7 W/m*K (Brigaud und Vasseur, 1989). Da das Sediment als wassergesättigt angenommen wird, wurde der Minimalwert hier bei 0,6 W/m*K angenommen.

Tabelle 3: Für die zur Plausibilitätsprüfung benutzten Werte für alle Parameter.

Parameter	Plausibilitätskriterien
Gamma-Dichte	$1,5 \text{ g/cm}^3 < \rho_{GD} < 2,0 \text{ g/cm}^3$
Errechnete Porosität	$0\% < \phi < 80\%$
Gemessene Porosität	$0\% < \phi < 80\%$
Spezifischer Widerstand	$0 \Omega\text{m} < \rho < 1,0 \Omega\text{m}$
Wärmeleitfähigkeit	$0,6 \text{ W/m} * \text{K} < k < 2,0 \text{ W/m} * \text{K}$

Diese interpolierten Werte wurden noch einmal für jeden Kern gegen die Tiefe und, wie in den Ergebnissen dargestellt, teilweise gegeneinander aufgetragen. Zur Überprüfung der errechneten Porosität wurden diese gegen die an Proben gemessene Porosität für jeden Kern aufgetragen und auf das Übereinstimmen dieser Werte hin und auf deren Verteilung, Mittelwerte und Standardabweichung untersucht.

Danach wurden die interpolierten Werte zur Auswertung der Gesamtdatenbasis zusammengefasst, um die Auswertung auf eine statistisch gesehen aussagekräftigere Basis zu stellen. Die Anzahl der Werte pro Sedimentkern sind zu gering um aussagekräftige Tendenzen zu erkennen und begründete Aussagen treffen zu können. Die statistische Untersuchung auf Verteilung, Mittelwert und Standardabweichung wurde auch für die anderen gemessenen Parameter an der Gesamtdatenbasis durchgeführt.

Die beschriebene Durchführung dieser Schritte zur grafischen Darstellung, Bearbeitung, Zusammenfassung und Auswertung der Sedimentkerndaten wurde mittels zweier Matlab-Routinen durchgeführt, die zu diesem Zweck im Rahmen der Arbeit erstellt wurden.

Zur Reproduzierbarkeit der so erhaltenen Ergebnisse sind sämtliche Daten in ihrer ursprünglichen und der bearbeiteten Form im Anhang enthalten, ebenso wie die zur Auswertung verwendeten Matlab-Routinen

4 Ergebnisse

4.1 Messergebnisse, vorgestellt am Kern GeoB 13501-1

Die Ergebnisse der einzelnen Kerne werden hier exemplarisch am Kern GeoB 13501-1 dargestellt. Die Abbildungen aller anderen Sedimentkerne finden sich im Anhang.

4.1.1 MSCL-Daten

In Abb. 4 sind die Ergebnisse der MSCL-Messung gegen die Kerntiefe vom Meeresboden aus gemessen (meters below seafloor = mbsf) aufgetragen. Als rote horizontale Linien sind die Sektionswechsel bei der Messung am MSCL gekennzeichnet. Hier wurden jeweils drei Messpunkte entfernt, da die gemessenen Daten hier eindeutig stark fehlerbehaftet waren.

Die links dargestellte Kerndicke, dargestellt zwischen 5 und 7cm, schwankt hier ungefähr zwischen 5cm und 6cm mit teils größeren Änderungen von Sektion zu Sektion.

Die gemessene Dichte, aufgetragen in einem Intervall von 1,5-2 g/cm^3 , liegt ungefähr bei 1,7 g/cm^3 zeigt jedoch in größeren Tiefen einen Trend zu höheren Werten nahe 1,8 g/cm^3 . Die aus der Gamma-Dichte errechneten Werte der Porosität in Prozent zeigen, dargestellt zwischen 45-85%, einen entsprechend umgekehrten Trend hin zu kleineren Werten bei größerer Tiefe. So liegt die Porosität nahe

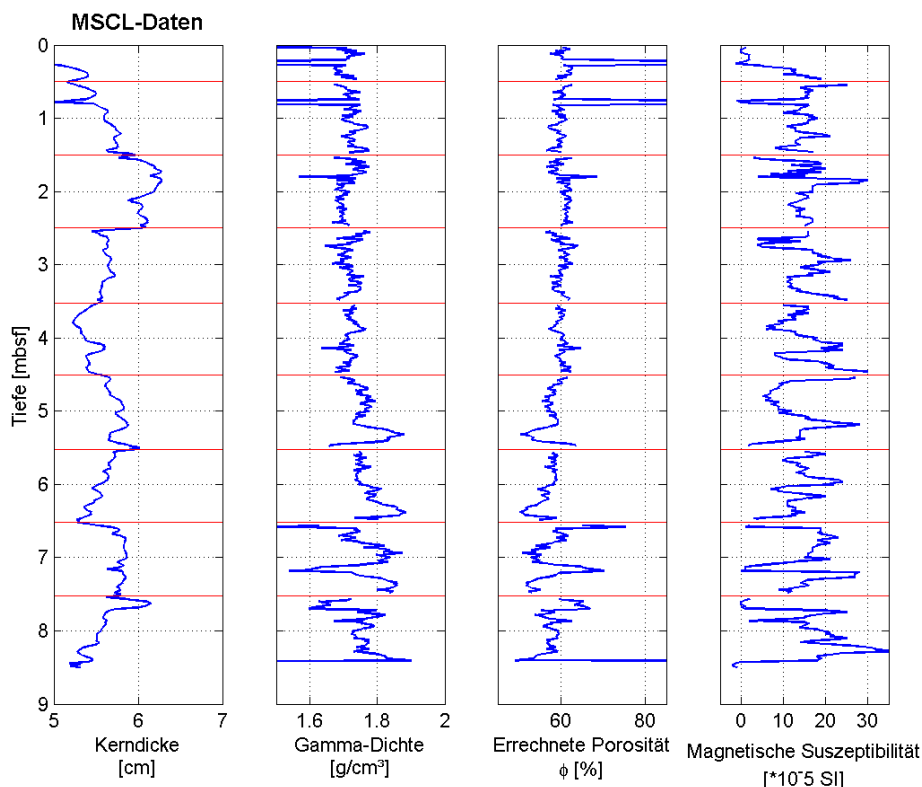


Abb. 4: Am MSCL gemessene Konstanten der Kerndicke, Gamma-Dichte, der daraus errechneten Porosität und die magnetische Suszeptibilität aufgetragen gegen die Kerntiefe unterhalb des Meeresbodens. Die roten horizontalen Linien stellen die Sektionswechsel bei der Messung dar.

Ergebnisse

dem Meeresboden bei ungefähren 60 % und nimmt mit der Tiefe leicht ab zu Werten von 56%. Die magnetische Suszeptibilität schwankt, zwischen $-5 \cdot 10^{-5}$ SI – $35 \cdot 10^{-5}$ SI, um $30 \cdot 10^{-5}$ SI und ist dimensionslos. Es handelt sich bei der hier gemessenen Suszeptibilität um die unkorrigierten volumen- und massenunabhängigen Werte. Auffällig sind hier einige sehr hohe Amplituden der Gamma-Dichte und folglich der errechneten Porosität hin zu unrealistisch hohen Werten.

4.1.2 Gamma-Dichte, Porosität, Widerstand und der Wärmeleitfähigkeit vor und nach der Interpolation

Diese Werte wurden durch eine Plausibilitätsprüfung entfernt, wie in Abb. 5 dargestellt. Zusätzlich wurde zu der errechneten Porosität die an Proben gemessene Porosität als rote Datenpunkte eingetragen. Diese Werte liegen meist etwa um sieben Prozentpunkte höher als die errechneten. Außerdem ist der spezifische Widerstand hier auch gegen die Kerntiefe aufgetragen. Es zeigen sich Werte für den hier betrachteten Kern zwischen 0,23 und 0,78 Ω m. Eine leichte Zunahme mit größerer Tiefe ist zu erkennen.

Die Wärmeleitfähigkeit auf einer Skala von 0,8 bis 1,2 W/m*K zeigt eine deutliche Zunahme von niedrigeren Werten nahe des Meeresbodens um 0,8 W/m*K zu Werten von um 1 W/m*K bei 7 m Tiefe.

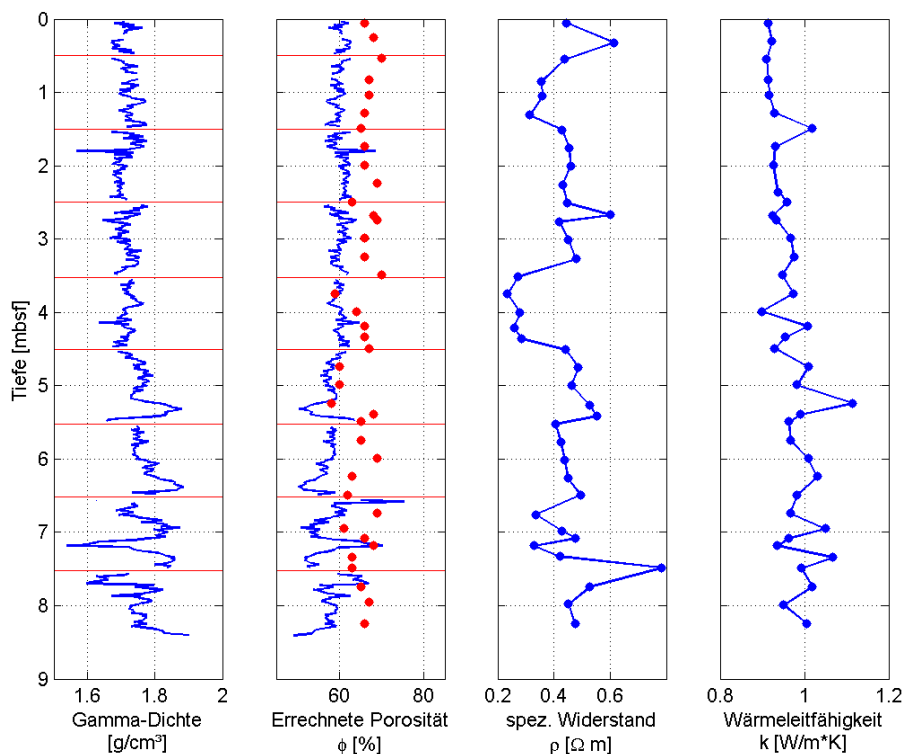


Abb. 5: Daten der Gamma-Dichte, der daraus errechneten Porosität, des spezifischen Widerstands und der Wärmeleitfähigkeit aufgetragen gegen die Kerntiefe unterhalb des Meeresbodens. Die horizontalen roten Linien zeigen wiederum die Sektionswechsel bei der Messung am MSCL, die roten Datenpunkte stellen die an Proben gemessene Porosität dar.

Ergebnisse

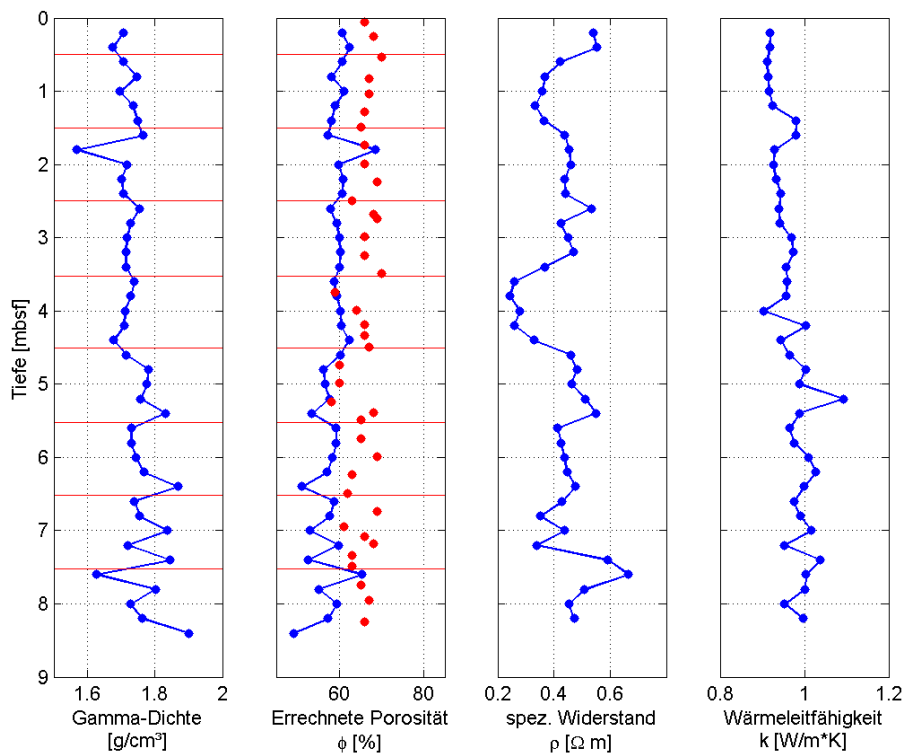


Abb. 6: Auf eine gemeinsame Tiefenskala mit einem Inkrement von 20cm interpolierte Werte der Gamma-Dichte, errechneter Porosität, des spezifischen Widerstands und der Wärmeleitfähigkeit. Die durch rote Punkte dargestellte gemessene Porosität wurde nicht interpoliert.

In Abb. 6 sind die Daten nach der Interpolation auf ein gemeinsames Tiefenintervall mit einem Inkrement von 20cm geplottet. Die gemessene Porosität wurde dabei nicht mit den anderen Daten interpoliert, die Kerntiefen entsprechen den Stellen der Probenentnahme. Trotz der Plausibilitätsprüfung bewirken einzelne höhere Werte bei der Interpolation noch breitere Extrema als sie im ursprünglichen Datensatz vorhanden sind. Dieses ist zum Beispiel bei einer Tiefe von ungefähr 1,8m bei der Gamma-Dichte und der errechneten Porosität zu sehen, wo ein sehr schmaler Peak durch die Interpolation zu einem wesentlich breiteren Peak wird. Ansonsten gibt die Interpolation die Trends in den nicht interpolierten Daten sehr gut wieder und glättet diese nur. Eine weitere Beschneidung der zugrunde liegenden Datenbasis macht auch wenig Sinn, da ansonsten die Gefahr besteht wahre Werte mit aus dem Datensatz zu entfernen und so später falsche Schlüsse durch die Auswertung solcher Daten zu ziehen. Auch bei den interpolierten Daten bleibt die gemessene Porosität gegenüber der errechneten um ca. 7% zu höheren Werten hin verschoben. Durch die Interpolation tritt diese Diskrepanz der Werte noch mehr ins Auge. Einzig im tieferen Bereich des Kerns nähern sich die Werte mehr an.

4.1.3 Errechnete gegen gemessene Porosität

In Abb. 7 ist nun die errechnete Porosität des Sedimentkerns GeoB 13501-1 aufgetragen gegen die an Proben gemessene Porosität. Die errechnete Porosität wurde dazu auf die Tiefen der an Proben gemessenen Porosität interpoliert, um Werte gleicher Tiefe miteinander zu vergleichen. Im Idealfall sollte errechnete und gemessene Porosität übereinstimmen und somit ein Verhältnis von 1:1 zueinander haben. Dieses Verhältnis ist in der Abbildung durch die rote Linie gekennzeichnet. Würden die Porositäten ungefähr miteinander übereinstimmen, sollten die aufgetragenen Werte ungefähr auf dieser Linie liegen. Wie hier sind die Werte der errechneten Porosität aber systematisch bei allen Kernen ungefähr um 7% höher als die errechnete Porosität. Die schwarze Linie zeigt das um 7% in Richtung der gemessenen Porosität verschobene Verhältnis an. Wie man sieht liegen die Datenpunkte gut um dieses Verhältnis verteilt.

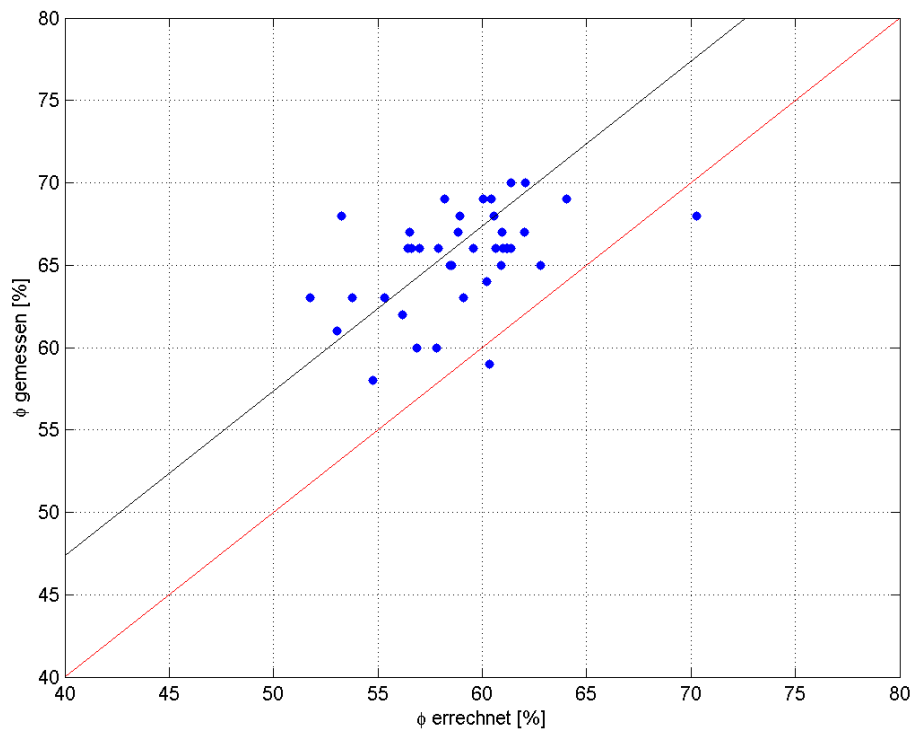


Abb. 7: Errechnete Porosität in Prozent aufgetragen gegen die gemessene Porosität. Wären beide Porositäten identisch müssten sie idealerweise auf der roten Linie liegen, die ein Verhältnis beider Porositäten von 1:1 angeben würde. Die Werte sind aber ca. um 7%, dargestellt durch die schwarze Linie, in Richtung der gemessenen Porosität verschoben.

Ergebnisse

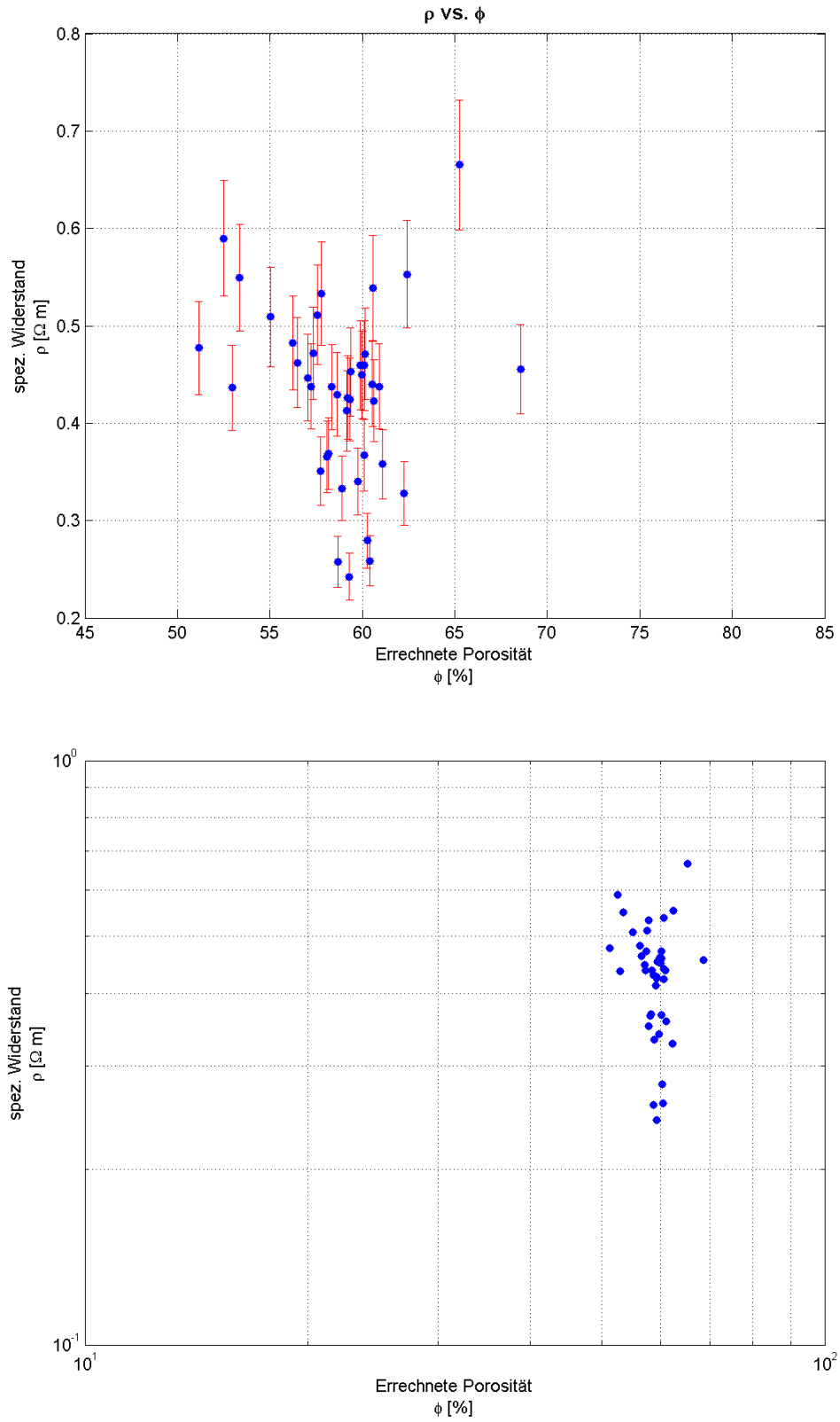


Abb. 8: Spezifischer Widerstand aufgetragen gegen errechnete Porosität, unten in doppellogarithmischer Darstellung. Die roten Fehlerbalken oben geben den Fehler des spezifischen Widerstands mit 10% an.

4.1.4 Spezifischer Widerstand gegen errechnete Porosität

In Abb. 8 ist der spezifische Widerstand gegen die Porosität aufgetragen. Die Fehlerbalken zeigen den Fehler des spezifischen Widerstands von $\pm 10\%$. Durch die geringe Bandbreite der Porosität sind Aussagen über einen Trend hier nur sehr unsicher. Auch die doppellogarithmische Darstellung lässt keine sichere Aussage zu. Man könnte dennoch eine Abnahme des spezifischen Widerstands bei zunehmender Porosität vermuten. Die Werte liegen hier relativ dicht beieinander zwischen ca. 50-65% Porosität und 0,23-0,78 Ωm . Die Punktwolke ist also ziemlich konzentriert und die Werte zeigen keine großen Variationen. Dieses ist generell bei allen Kernen der Fall.

4.1.5 Wärmeleitfähigkeit gegen Dichte und Porosität

Die Auswertung der Wärmeleitfähigkeitsdaten gegen die Gamma-Dichte und Porosität sind in Abbildung 9 und 10 für den Kern GeoB13501-1 dargestellt. Die Fehlerbalken der Wärmeleitfähigkeit stehen für einen Fehler von $\pm 5\%$. Die Werte der Dichte liegen zum größten Teil zwischen 1,65 bis 1,85 g/cm^3 und die der Wärmeleitfähigkeit zwischen 0,9 bis 1,05 $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$. Es ist eine leichte Zunahme der Wärmeleitfähigkeit hin zu höheren Dichten in den Datenpunkten zu sehen (Abb. 9).

Die Werte der Porosität liegen zum größten Teil zwischen 50% bis 65%. Komplementär zum Trend der Wärmeleitfähigkeit gegen die Dichte, zeigt die Wärmeleitfähigkeit hier eine Abnahme bei zunehmender Porosität. Dieser Trend ergibt sich aus der eindeutigen Beziehung zwischen Dichte und Porosität eines Sediments, da die Dichte des Sediments bei abnehmender Porosität steigt (Abb. 10).

Ergebnisse

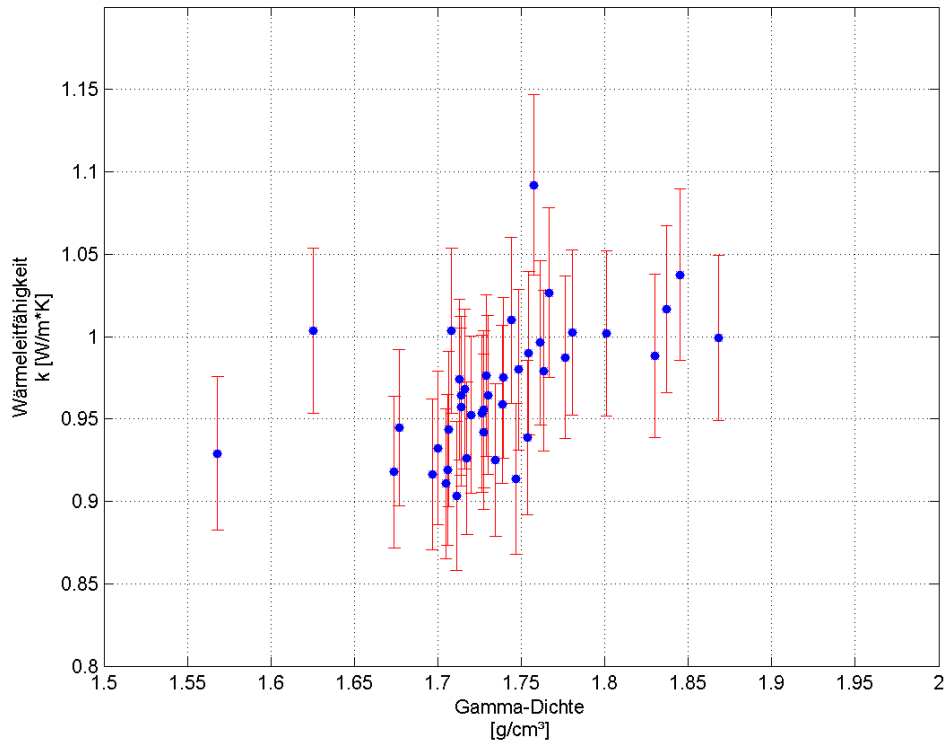


Abb. 9: Wärmeleitfähigkeit aufgetragen gegen Gamma-Dichte. Die roten Fehlerbalken geben den Fehler der Wärmeleitfähigkeit mit 5% an.

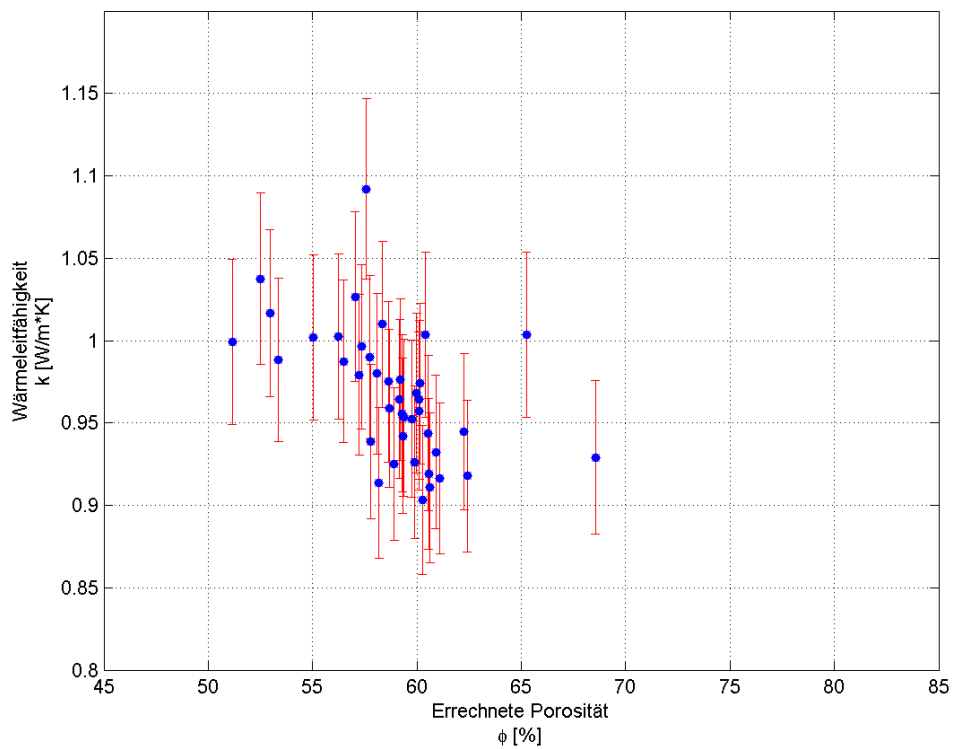


Abb. 10: Wärmeleitfähigkeit aufgetragen gegen die errechnete Porosität. Die roten Fehlerkreuze geben den Fehler der Wärmeleitfähigkeit mit 5% an.

4.2 Ergebnisse der Gesamtdatenbasis

Für eine statistisch einigermaßen gesicherte Auswertung der an den Kernen gewonnenen Daten, ist es sinnvoller nicht die einzelnen Kerne zu betrachten, sondern die Gesamtdatenbasis zur Auswertung und Interpretation heranzuziehen. Daher wurden die Daten zusammengefasst und zur Auswertung dargestellt. Außerdem erfolgte eine statistische Untersuchung der Daten, um deren Qualität und teilweise, wie bei der errechneten und gemessenen Porosität, deren Plausibilität zu überprüfen. Hierzu erfolgt nun zunächst die Darstellung der Ergebnisse anhand der Gesamtdatenbasis der zehn ausgewählten Sedimentkerne von North Pond.

4.2.1 Spezifischer Widerstand gegen errechnete Porosität

In Abb. 11 sind alle Daten des spezifischen Widerstands gegen die errechneten Porositäten gleicher Kerntiefe aufgetragen. Insgesamt streuen die Werte der Sedimentkerne in einem größeren Bereich von 0,23 Ωm bis 0,68 Ωm spezifischen Widerstand und in einem Porositätsbereich von ca. 50% bis 65%. Die Bandbreite der Porosität und des Widerstands ist also auch über die Gesamtdatenbasis aller zehn Sedimentkerne mit 0,45 Ωm und 15% Porosität eher gering.

Die spezifischen Widerstände scheinen auch bei unterschiedlicher Porosität relativ gleichbleibend zu sein. Eine eindeutige Zu- oder Abnahme ist in den Daten hier nicht zu sehen. Auch die doppellogarithmische Darstellung in Abb. 12 bringt hier keine neuen Ergebnisse. Allerdings zeigen einige Datenpunkte der Kerne GeoB 13501-1 und GeoB 13511-1 eine leichte Abweichung zu niedrigerem Widerstand, besonders deutlich zu sehen ist dieses in der doppellogarithmischen Darstellung.

Ergebnisse

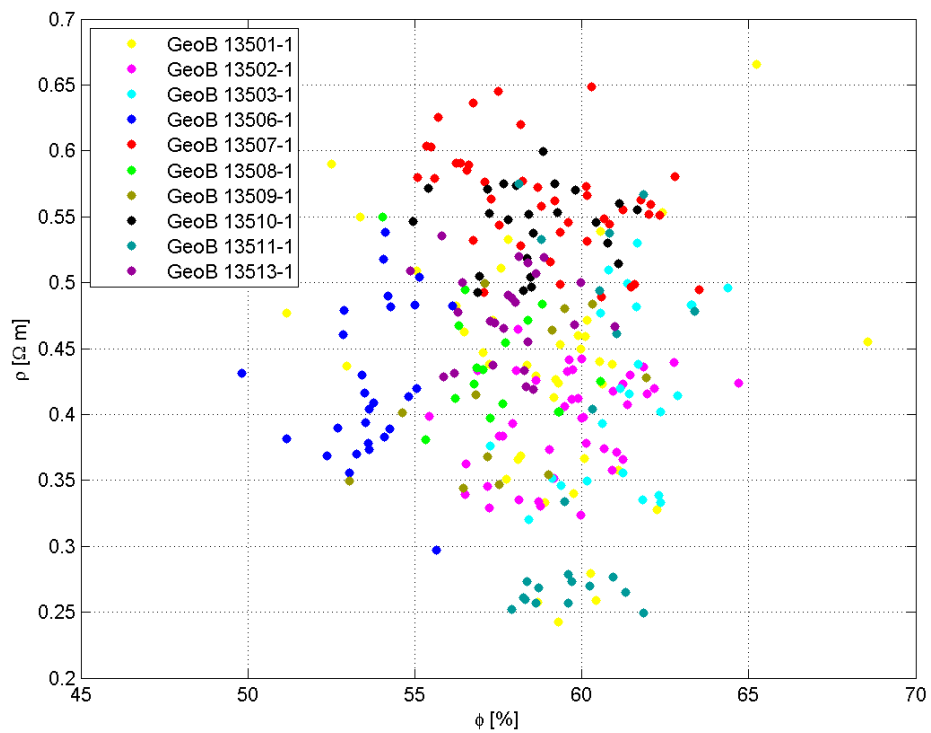


Abb. 11: Spezifischer Widerstand aufgetragen gegen errechnete Porosität. Gesamtdaten dargestellt in verschiedenen Farben für die verschiedenen Sedimentkerne, erläutert in der Legende

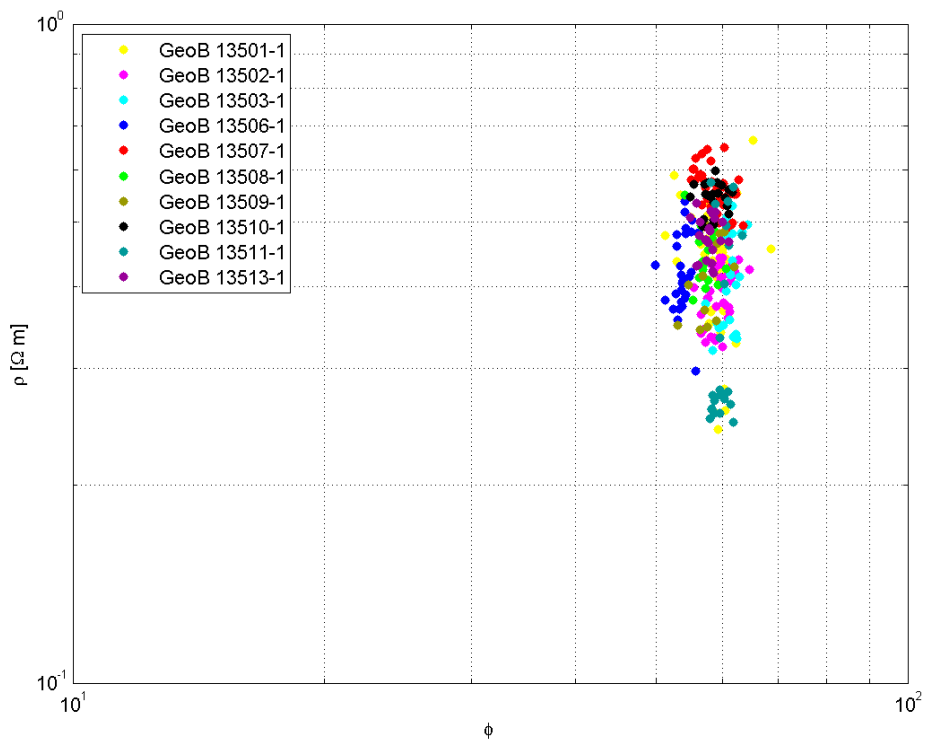


Abb. 12: Spezifischer Widerstand doppellogarithmisch aufgetragen gegen errechnete Porosität. Gesamtdaten dargestellt in verschiedenen Farben für die verschiedenen Sedimentkerne, erläutert in der Legende

Ergebnisse

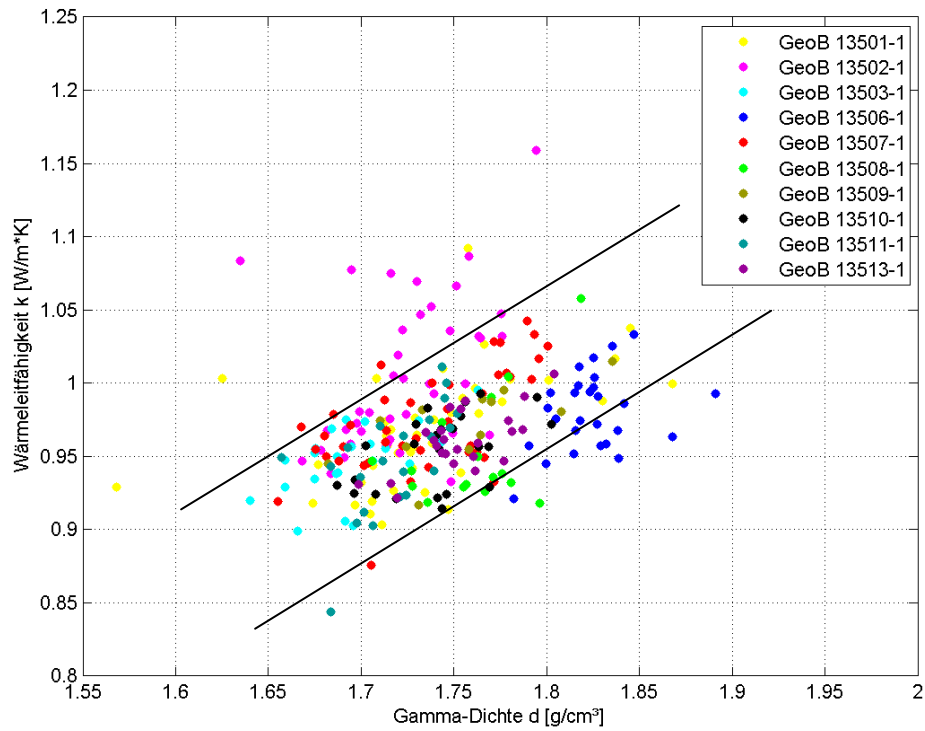


Abb. 13: Wärmeleitfähigkeit aufgetragen gegen die Gamma-Dichte. Datenpunkte aller Sedimentkerne zusammen dargestellt. Die Farben der einzelnen Datenpunkte stehen für verschiedene Sedimentkerne und sind in der Legende erläutert. Die schwarzen Linien dienen zur Veranschaulichung des Trends.

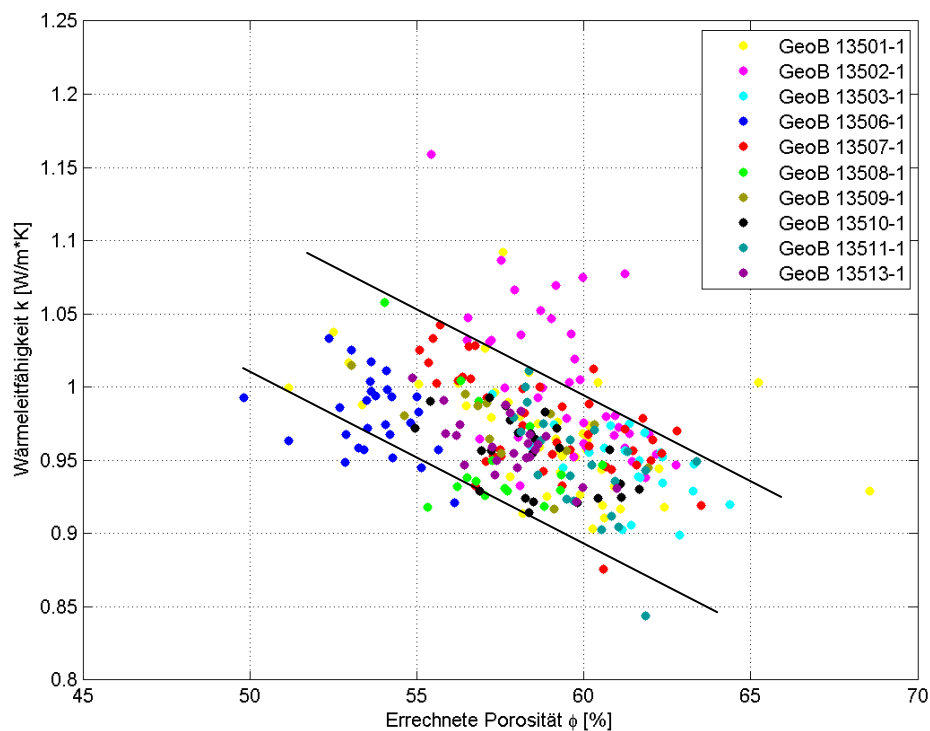


Abb. 14: Wärmeleitfähigkeit aufgetragen gegen die aus der Gamma-Dichte errechnete Porosität. Datenpunkte aller Sedimentkerne zusammen dargestellt. Die Farben der einzelnen Datenpunkte stehen für verschiedene Sedimentkerne und sind in der Legende erläutert. Die schwarzen Linien dienen zur Veranschaulichung des Trends.

4.2.2 Wärmeleitfähigkeit gegen Gamma-Dichte und errechnete Porosität

In Abb. 13 ist die Wärmeleitfähigkeit gegen die Gamma-Dichte aufgetragen. Hier liegen die Werte aller Kerne mehr oder weniger in einer Punktwolke. Lediglich der Sedimentkern GeoB 13502-1 streut hier etwas mehr zu höherer Wärmeleitfähigkeit hin.

Die Werte liegen im Allgemeinen in einem Bereich von $0,9 \text{ W/m}^*\text{K}$ bis zu $1,05 \text{ W/m}^*\text{K}$, der Kern GeoB 13502-1 streut hier bis zu $1,1 \text{ W/m}^*\text{K}$, und Dichten von $1,65 \text{ g/cm}^3$ bis $1,85 \text{ g/cm}^3$. Die Bandbreiten der Wärmeleitfähigkeit mit $0,15 \text{ W/m}^*\text{K}$ und der Dichte mit $0,2 \text{ g/cm}^3$ sind hier ebenfalls nicht sehr groß. Dennoch lässt sich schon deutlich eine Zunahme der Wärmeleitfähigkeit bei zunehmender Dichte erkennen, besonders wenn man die streuenden Werte des Kern GeoB 13502-1 bei dieser Betrachtung nicht berücksichtigt, hier angedeutet durch die beiden parallelen Linien in Abb 3. Die Porosität besitzt hier eine Bandbreite von ca. 50% bis 65% von also nur 15%

In Abb. 14 ist die Wärmeleitfähigkeit gegen die aus der Gamma-Dichte errechnete Porosität aufgetragen. Der Datensatz scheint hier gespiegelt und weist zur Porosität konsekutiv eine Abnahme der Wärmeleitfähigkeit bei steigender Dichte auf.

4.2.3 Spezifischer Widerstand gegen Wärmeleitfähigkeit

Bei dem Plot spezifischer Widerstand gegen Wärmeleitfähigkeit in Abb. 15 zeigt sich kein offensichtlicher Zusammenhang dieser Parameter. Die Werte streuen in einem weiten Cluster ohne wirkliche Tendenzen.

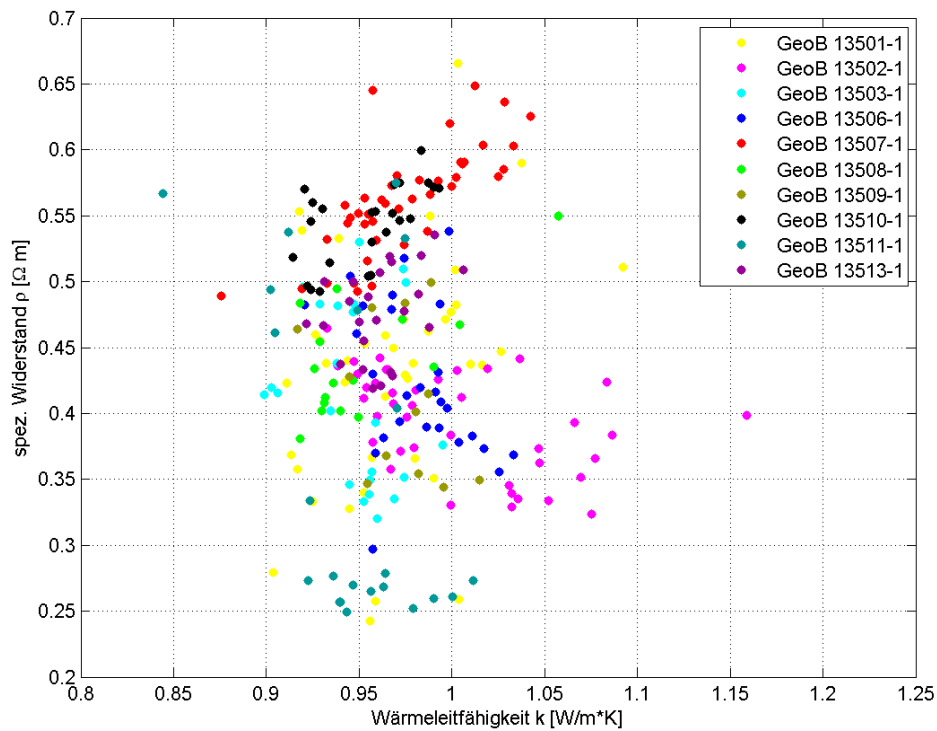


Abb. 9: Spezifischer Widerstand aufgetragen gegen Wärmeleitfähigkeit. Datenpunkte aller Sedimentkerne zusammen dargestellt. Die Farben der einzelnen Datenpunkte stehen für verschiedene Sedimentkerne und sind in der Legende erläutert.

4.3 Statistische Auswertung der Gesamtdatenbasis

Zur Qualitätskontrolle und zur Prüfung des Datensatzes auf besondere Auffälligkeiten werden hier die Ergebnisse der statistischen Untersuchung der gemessenen und errechneten Parameter dargestellt. Die statischen Kennwerte Mittelwert und Standardabweichung sind in Tabelle 4 angegeben.

Tabelle 4: Mittelwert und Standardabweichung aller benutzter Parameter

Parameter	Mittelwert	Standardabweichung
Gamma-Dichte	1,74 g/cm ³	0,05 g/cm ³
Errechnete Porosität	58 %	3%
Gemessene Porosität	66%	4 %
Spezifischer Widerstand	0,45 Ωm	0,09 Ωm
Wärmeleitfähigkeit	0,97 W/m*K	0,04 W/m*K

4.3.1 Gamma-Dichte

Der Mittelwert der Gamma-Dichte liegt, wie Tabelle 4 zu entnehmen, bei 1,74 g/cm³ mit einer Standardabweichung von 0,05 g/cm³. Die Dichte zeigt also für die gesamte Datenbasis aller zehn ausgewählter Sedimentkerne eine sehr enge Verteilung und somit kaum Variation. Diese reicht wie in Histogramm Abb. 16 dargestellt von 1,55 g/cm³ bis 1,9 g/cm³. Diese kleinsten und größten Werte der Dichte kommen aber jeweils nur mit einem Datenpunkt in der Gesamtdatenbasis vor. Die Verteilung ist daher eher eng um den Mittelwert von 1,74 g/cm³.

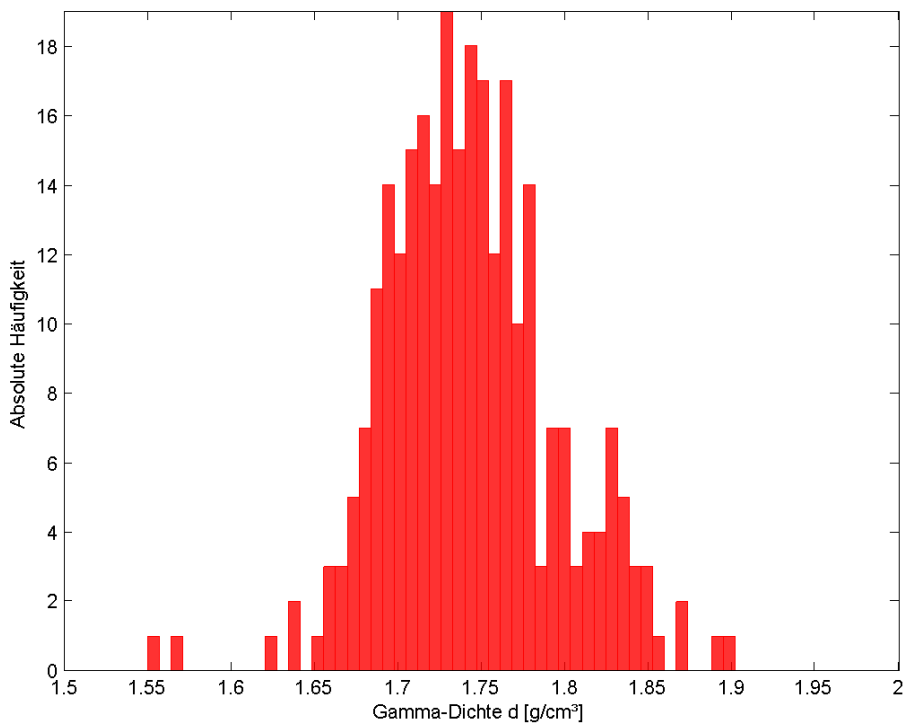


Abb. 10: Verteilung der Gamma-Dichte des gesamten Datensatzes. Der Mittelwert liegt bei 1,74 g/cm³, die Standardabweichung beträgt 0,05 g/cm³.

4.3.2 Errechnete und gemessene Porosität

Der Mittelwert der errechneten Porosität liegt mit 58 % um 8 % niedriger als der Mittelwert der gemessenen Porosität mit einem Wert von 66%. Diese Abweichung der Verteilungen ist im Histogramm Abb. 17 dargestellt. Die Standardabweichung der gemessenen Porosität mit 4% ist um einen Prozentpunkt höher als die der errechneten Porosität mit 3%, also damit fast identisch. Die nur gering größere Standardabweichung der gemessenen Porosität wird nur von einzeln auftretenden Messwerten bei ca. 46% und über 75%, die jeweils als einzelner Wert in der Gesamtdatenbasis vorkommen, verursacht. Wie im Histogramm zu sehen, ist die Verteilung der gemessenen Porosität ansonsten nicht breiter als die der errechneten Porosität. Insgesamt sind beide Verteilungen sehr eng in einem Bereich von minimal ca. 46% bis ca. 80%.

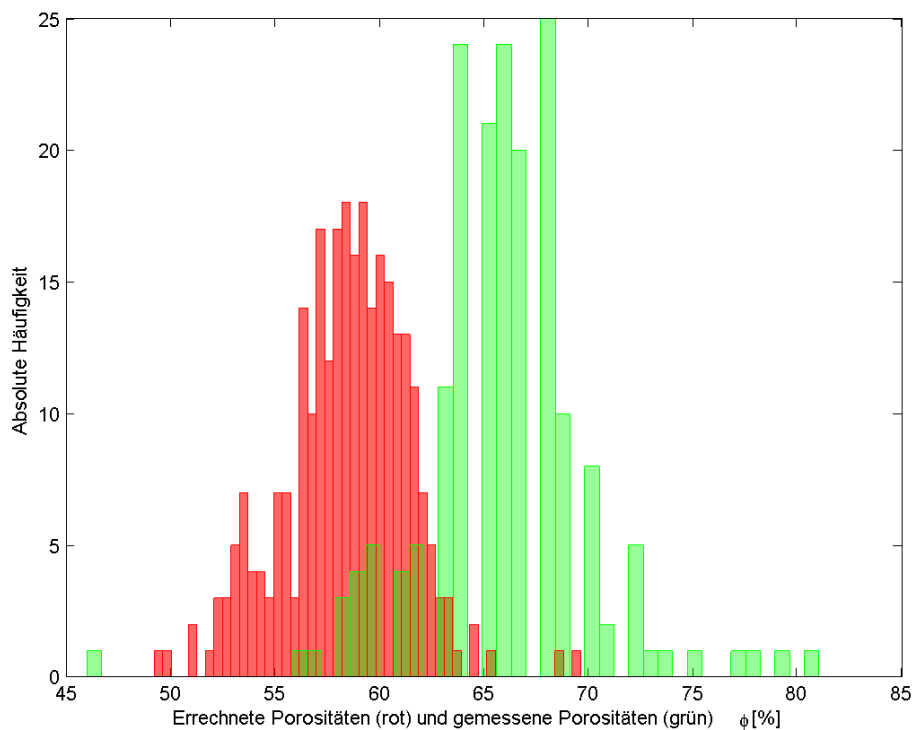


Abb. 11: Verteilung der errechneten Porosität in rot und der gemessenen Porosität in grün. Die errechnete Porosität hat einen Mittelwert von 58% und eine Standardabweichung von 3%. Die gemessene Porosität hat einen Mittelwert von 66% und eine Standardabweichung von 4%.

4.3.3 Spezifischer Widerstand

Der spezifische Widerstand streut mit einer Standardabweichung von $0,09 \Omega\text{m}$ bei einem Mittelwert von $0,45 \Omega\text{m}$ scheinbar sehr breit. Im Histogramm Abb. 18 ist der Grund für diese Streuung zu erkennen. So zeigt sich kein eindeutiges Verteilungsmaximum, sondern ungefähr drei Maxima mit Häufigkeiten von um die zehn Messpunkte bei $0,43 \Omega\text{m}$, $0,47 \Omega\text{m}$ und bei $0,57 \Omega\text{m}$. Der spezifische Widerstand zeigt also eine größere Bandbreite als die anderen Parameter in dieser Arbeit. Die Werte reichen von $0,23 \Omega\text{m}$ bis $0,68 \Omega\text{m}$.

Auffällig ist außerdem die Verteilung um $0,25 \Omega\text{m}$ mit einer Häufung von Werten außerhalb der restlichen Verteilung. Diese Häufung wird vermutlich wie auch schon bei der Ergebnisbesprechung 4.2.1 gezeigt vom Kern GeoB 13511-1 verursacht, der hier eindeutig niedrigere Werte zeigte als alle anderen Sedimentkerne.

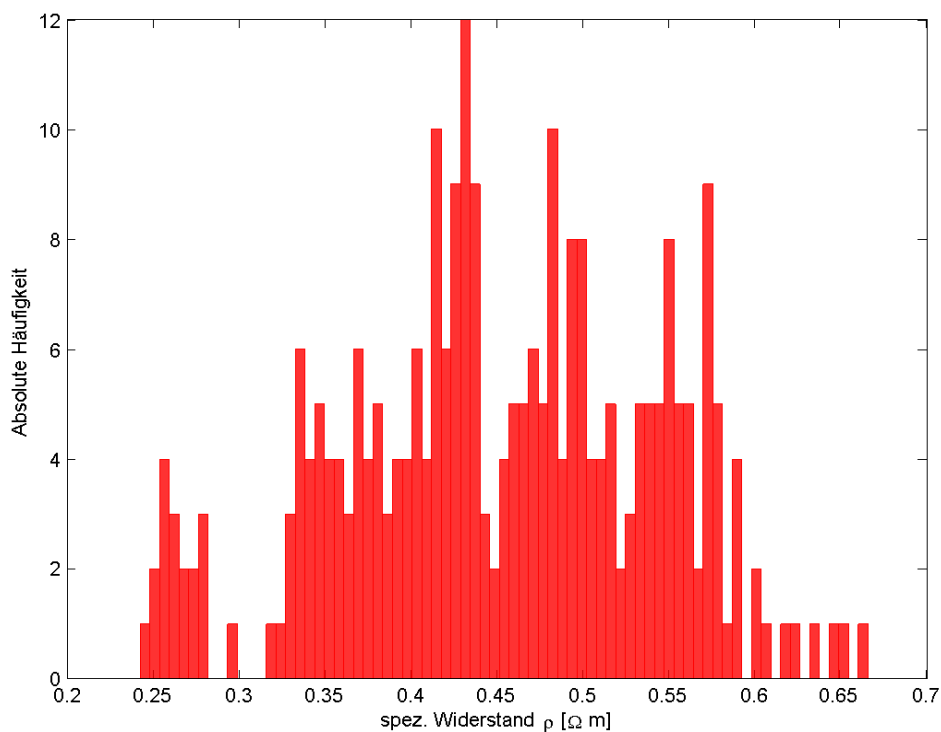


Abb. 12: Verteilung des spezifischen Widerstands des gesamten Datensatzes. Der Mittelwert liegt bei $0,45 \Omega\text{m}$, die Standardabweichung bei $0,09 \Omega\text{m}$. Auffällig ist die Breite der Verteilung, ein eindeutiges Maximum ist nicht auszumachen.

4.3.4 Wärmeleitfähigkeit

Der Mittelwert der Wärmeleitfähigkeit liegt bei $0,96 \text{ W/m}^*\text{K}$. Die Verteilung um diesen Mittelwert ist zu kleineren Werten hin etwas steiler, wie im Histogramm Abb.19 zu sehen ist. Zu größeren Werten ist die Verteilung etwas schmäler. Die Standardabweichung liegt bei $0,04 \text{ W/m}^*\text{K}$. Das Minimum der Verteilung liegt mit dem kleinsten Wert bei $0,84 \text{ W/m}^*\text{K}$, der größte Wert liegt bei $1,16 \text{ W/m}^*\text{K}$. Diese Werte kommen nur mit einer Häufigkeit von 1 vor und können daher schon fast als Ausreißer betrachtet werden.

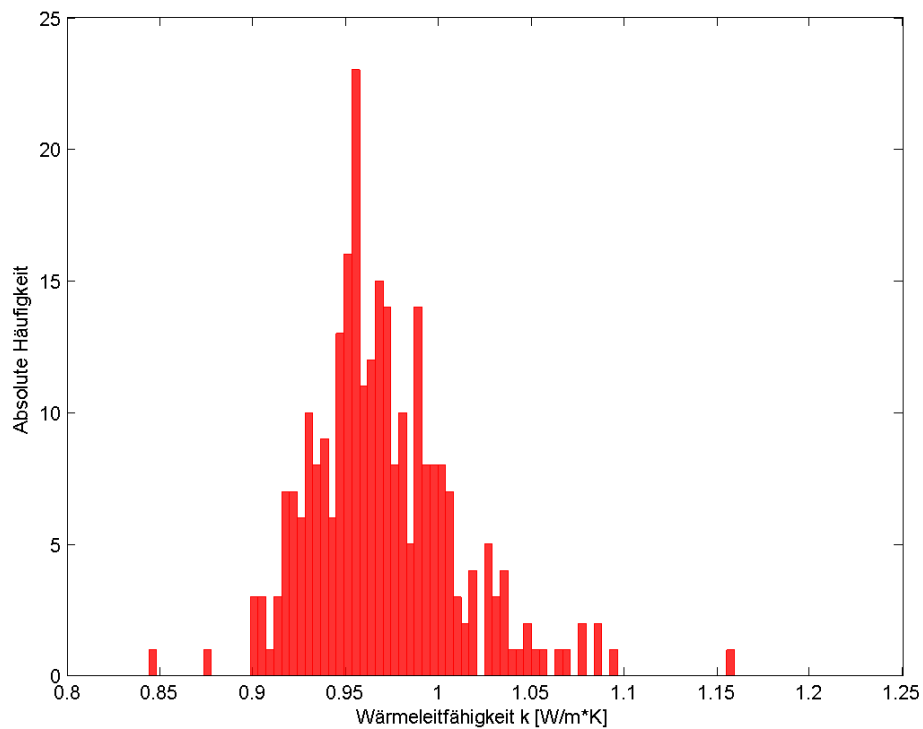


Abb. 13: Verteilung der Wärmeleitfähigkeit des gesamten Datensatzes. Der Mittelwert liegt bei $0,96 \text{ W/m}^*\text{K}$, die Standardabweichung bei $0,04 \text{ W/m}^*\text{K}$.

5 Diskussion

5.1 Errechnete und gemessene Porosität

Da die Porosität für die Untersuchung aller gesteinsphysikalischer Parameter in dieser Arbeit von entscheidender Bedeutung ist, soll zu Beginn zunächst auf die festgestellte Diskrepanz zwischen errechneter und gemessener Porosität eingegangen werden und mögliche Ursachen für diese Abweichung diskutiert werden.

Wie in der Ergebnisdarstellung aufgezeigt wurde, tritt für alle Kerne eine systematische Abweichung zu höheren Werten der gemessenen Porosität auf. Diese Abweichung liegt bei allen Kernen zwischen 5-9%, in der Abweichung der Mittelwerte beider Verteilungen um ca. 8% (Abb. 17).

Da diese Abweichung systematisch und bei allen Kernen gleich auftritt, kann diese nur durch einen Messfehler oder durch eine fehlerhafte Kalibrierung der Messgeräte hervorgerufen worden sein. Zum einen kann der Fehler bei der Messung der Gamma-Dichten aufgetreten sein, aus der die Porosität errechnet wurde, zum anderen kann der Fehler bei der Messung der Porosität an Proben liegen.

Da die Messung der Gamma-Dichte im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt wurde, soll zunächst diese als Fehlerursache für die aufgetretene Diskrepanz in den Werten diskutiert werden.

Eine systematische Abweichung der gemessenen Gamma-Dichte an Multi Sensor Core Loggern von der tatsächlichen Dichte wurde schon von Weber et al. 1997 an einem MSCL des Alfred Wegener Instituts und einem MSCL der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe festgestellt. Hier wurden zwei Abweichungen der gemessenen von der wahren Dichte erkannt: Zum einen ein genereller Offset und zum anderen bei höheren Zählraten ein Fehler bei der Dichtemessung von bis zu 10%.

Der in der Arbeit von Weber et al. diskutierte Fehler durch eine hohe Zählrate trat aber nur bei Benutzung des 5mm-Kollimators oder erhöhter Zählzeit auf. Da hier bei der Messung jedoch der 2,5mm-Kollimator und kleine Zählzeiten von 8s benutzt wurden, scheint dies hier als Ursache nicht zuzutreffen. Außerdem ist dieser Fehler durch eine regelmäßige Kalibrierung, wie sie hier an jedem Messtag durchgeführt wurde, zu korrigieren. Die Autoren schlagen eine Kalibrierung sogar in größeren Abständen von mehreren Wochen vor.

Eine physikalische Ursache für den systematischen Offset bei der Messung der Dichte mit der GRAPE-Methode konnten die Autoren nicht ausmachen. Es wird vermutet, dass Schwankungen bei der Hochspannungsversorgung des Szintillators im Detektor das „Energiefenster“ von 0,662 MeV verändern. So würden auch Photonen anderer Energie, also auch gestreute Photonen, gezählt werden und für einen Offset sorgen.

Diskussion

Eine weitere Ursache für den Offset, die in derselben Arbeit behandelt wird, könnte die Vernachlässigung des Wasseranteils bei der Kalibrierung sein. Wasser besitzt eine um ein Vielfaches höhere Elektronendichte als das Kornmaterial des Sediments und somit einen wesentlich höheren Compton-Abschwächungskoeffizienten und streut die Gamma-Photonen somit wesentlich stärker. In der Arbeit von Weber et al. ist jedoch genannt, dass dieser Fehler für kleine Variationen in der Porosität, wie es bei unkonsolidierten und wassergesättigten marinen Sedimenten der Fall ist, deutlich unter 10% reduziert werden kann. Die Bandbreite der Porosität reicht bei den in dieser Arbeit behandelten Sedimenten von North Pond ebenfalls lediglich von 45-80%. Daher scheidet diese Ursache für die aufgetretenen Abweichungen wahrscheinlich aus (Weber et al., 1997).

Hier kann also nicht eindeutig auf einen Fehler der Dichtemessung am MSCL und einem daraus resultierenden Fehler der errechneten Porosität geschlossen werden. Als Fehlerquelle bleibt hier lediglich eine Fehlfunktion des Detektors durch Schwankungen der Hochspannungsversorgung übrig. Dieser ließe sich im Nachhinein jedoch schwer nachvollziehen.

Um die errechnete Porosität weiterhin auf ihre Plausibilität zu untersuchen, wurden MSCL-Daten des ODP-Legs 174 herangezogen, genauer die Dichte-Daten des Bohrlochs 1074A (Shipboard Scientific Party, 1998). Diese Daten wurden ebenfalls im Arbeitsgebiet North Pond gewonnen und entsprechen damit den in dieser Arbeit untersuchten Sedimenten. Diese Station ist ebenfalls in der Karte Abb. 1 eingezeichnet.

Aus den Daten bis in eine Kerntiefe von 9 m unter dem Meeresboden, was in etwa der maximalen Tiefe der hier behandelten Kerne entspricht, wurde mit denselben Parametern nach

$$\phi_{\text{calc}} = \frac{d_m - d}{d_m - d_f} \quad (\text{Gl.6})$$

mit der Korndichte $d_m = 2,75 \text{ g/cm}^3$, der Dichte des Fluids $d_f = 1,026 \text{ g/cm}^3$ und der Dichte d die Porosität ϕ_{calc} berechnet.

Die Verteilung ist in Abb. 20 dargestellt. Der Mittelwert der Dichte beträgt hier $1,63 \text{ g/cm}^3$, die Standardabweichung $0,04 \text{ g/cm}^3$. Der Mittelwert der Porosität liegt bei 65% und die Standardabweichung beträgt 2 %. Der Mittelwert der Porosität des ODP-Legs aus demselben Gebiet ist also fast identisch mit der an Proben gemessenen Porosität. Der Mittelwert der an Proben gemessenen Porosität lag bei 66%. Diese Tatsache spricht für einen systematischen Fehler bei der Gamma-Dichte-Messung und der Richtigkeit der an Proben gemessenen Porosität.

Diskussion

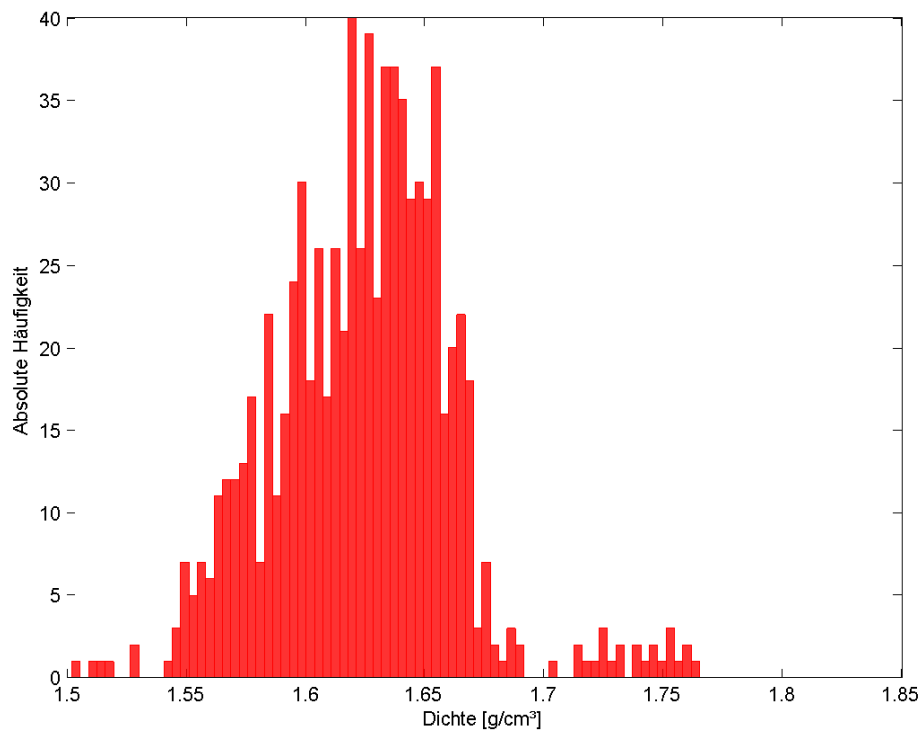


Abb. 20: Dichteverteilung des Bohrloches 1074A des ODP-Legs 174 North Pond. Der Mittelwert liegt hier bei $1,63 \text{ g/cm}^3$, die Standardabweichung beträgt $0,04 \text{ g/cm}^3$.

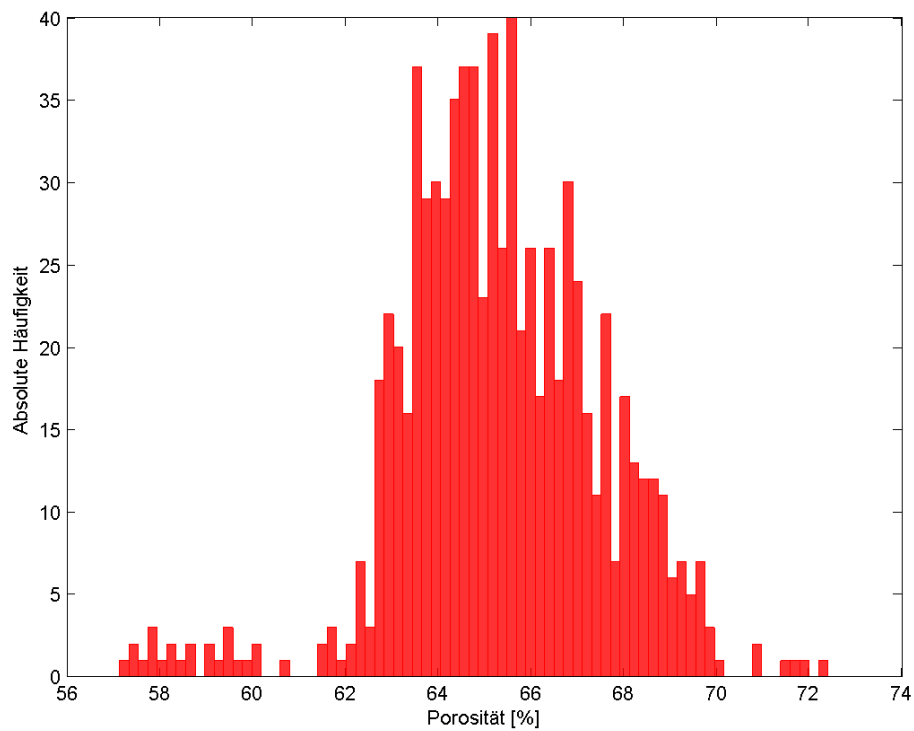


Abb. 21: Porositätsverteilung des Bohrloches 1074A des ODP-Legs 174 North Pond. Der Mittelwert liegt hier bei $65,17\%$, die Standardabweichung bei $2,19\%$.

Diskussion

Weiterhin wurden die an Proben gemessenen Dichten und Porositäten dieses Bohrlochs bis in eine Tiefe von 8,40m untersucht. Diese sind als rote Datenpunkte in Abb. 22 eingetragen. Hier ist jedoch wieder klar die Abweichung der an Proben gemessenen Porosität gegenüber der am MSCL gemessenen hin zu höheren Werten zu erkennen. Dieser Effekt scheint also hier ebenso aufzutreten, jedoch nur mit Abweichungen um 2-3%.

Dieser Effekt ist bei ODP-Messungen bekannt. Da durch Störung des Sedimentkerns, wie Entwässerung und damit verbundener Kompaktion, der halbe Liner nicht mehr vollständig gefüllt sein kann, können so zu niedrige Werte für die Gamma-Dichte entstehen, weil der Kalibrierungsstandard einen vollständig gefüllten halben Liner simuliert (Blum, 1997). Durch die Messung der Kerndicke, wie sie bei der Messung für diese Arbeit erfolgt ist, konnte dieser Effekt aber eigentlich korrigiert werden. Die Abweichung der Werte könnte auch durch die Messung der Porosität an Proben zustande kommen. So würde eine zu lange und zu heiße Trocknung toniger Sedimente durch Austreiben des Kristallwassers zu einem höheren, falschen Porositätswerts führen. Wodurch letztendlich die Abweichung der Porositätswerte zustande kommt, kann hier nicht beantwortet werden.

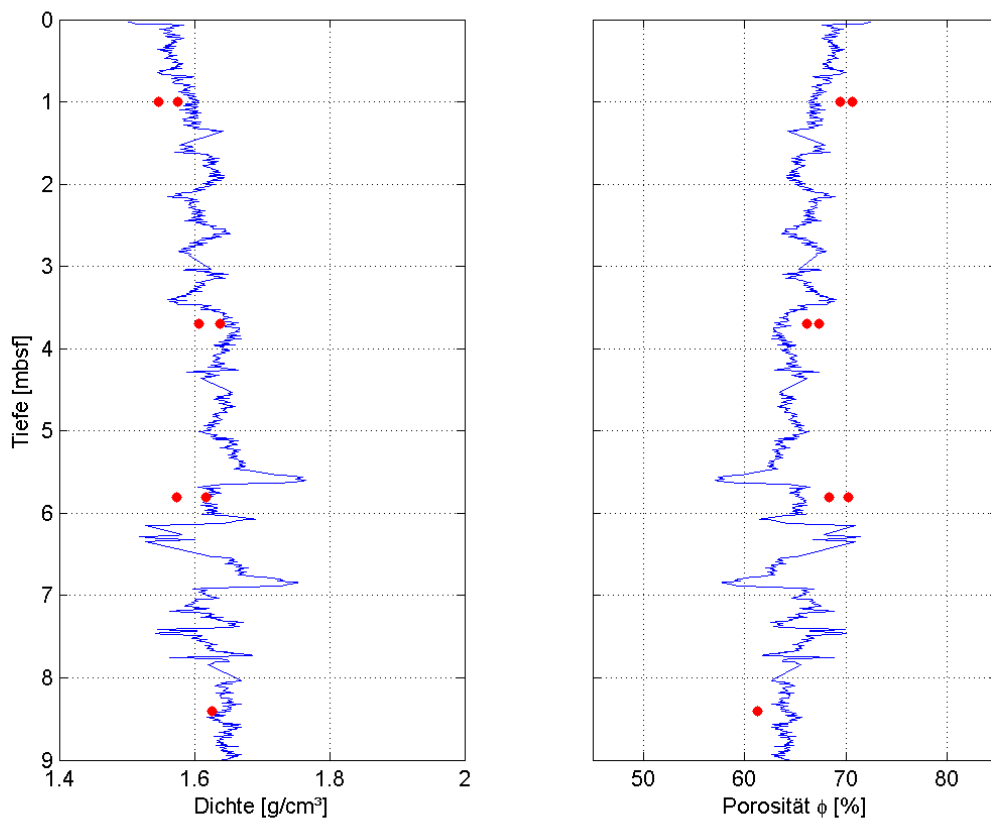


Abb. 22: Dichte und Porosität des Bohrloches 1074A des ODP-Legs 174 North Pond bis in eine Tiefe von 9m. In blau dargestellt sind die am MSCL gemessenen Daten, in rot die an Proben gemessenen Werte.

5.2 Untersuchung der Gültigkeit von Archie's Law in den Sedimenten von North Pond

Eine zentrale Fragestellung dieser Arbeit ist es, ob die Beziehung zwischen den spezifischen Widerständen und der Porosität nach Archie's Law auch in den unkonsolidierten, marinen Sedimenten von North Pond gilt.

Zur Untersuchung dieser Fragestellung wurden anhand der Gesamtdatenbasis nach einer Linearisierung von Archie's Law Gl. 7 in der Form von

$$\rho = \rho_W * \frac{1}{\phi^m} * a \quad (\text{Gl. 7a})$$

zu

$$\log(\rho) = -m * \log(\phi) + \log(\rho_W) \quad (\text{Gl. 7b})$$

der Zementationsfaktor m und der spezifische Widerstand des Wassers ρ_W über Lineare Regression von $\log(\rho)$ und $\log(\phi)$ berechnet und dargestellt, wobei hier die aus der Gamma-Dichte errechnete Porosität benutzt wurde. Das Sediment wurde als wassergesättigt angenommen, daher ist der Sättigungsfaktor $a=1$ und fällt somit weg (Bergmann, 1996).

Der durch Resubstitution in die Ursprungsform von Archie's Law errechnete Fit für die Gesamtdatenbasis ist in Abb. 23 in rot dargestellt.

Die durch eine Linearisierung anhand dieser Datenbasis errechneten Werte betragen für den Zementationsfaktor $m = 0,15$ und für den spezifischen Widerstand des Meerwassers $\rho_W = 0,41 \Omega\text{m}$. Der Sättigungsfaktor wurde hier mit $a=1$ angenommen.

Der spezifische Widerstand des Meerwassers wird meist mit $0,209 \Omega\text{m}$ bei einer Temperatur von 20°C angenommen. Der hier erhaltene Wert ist also fast um den Faktor zwei größer als der Literaturwert. Die Abschätzung des spezifischen Widerstands von Meerwasser gelingt hier also durch einen Fit mittels linearer Regression weniger gut (Gerland et al., 1992; Breitzke, 2000).

Der Zementationsfaktor m , der mit zunehmender Packungsdichte und Kompaktion des Sediments wächst, wird meist mit einem Wert zwischen 1,3 und 1,4 für Lockersedimente und bis zu 2,3 für dicht feinkristallinen Kalkstein angenommen (Fricke und Schön, 1999). In der Formulierung von Archie's Law nach Boyce (1968), die eine sehr gute Lösung dieser Gleichung für unkonsolidierte Sedimente darstellt, ist $m = 1,45$ angenommen (Gerland et al., 1992). Der in dieser Arbeit errechnete Wert von $m = 0,15$ weicht von den Literaturwerten um Größenordnungen um den Faktor 10 ab.

Diskussion

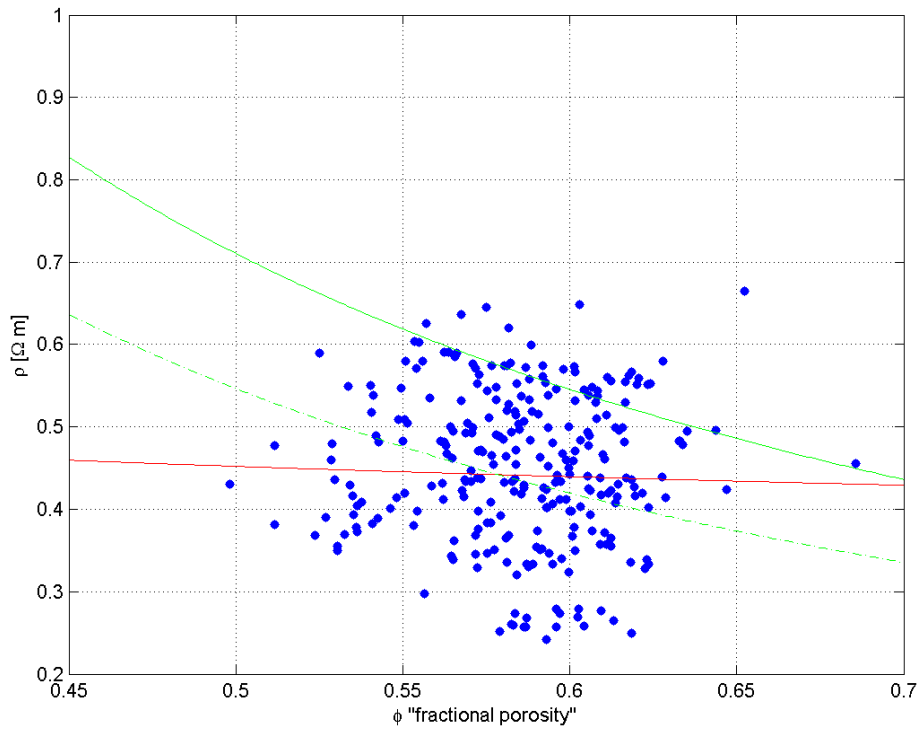


Abb. 23: Spezifischer Widerstand aufgetragen gegen die Porosität. Die rote Kurve ist Fit der Archie-Gleichung an die Datenbasis mit den errechneten Werten für ρ_w und m . Die grüne durchgezogene Kurve ist die Formulierung nach Boyce (1968) mit $a=1,3$, $m=1,45$ und $\rho_w=0,2 \Omega m$, die grüne gestrichelte Kurve mit $a=1$, $m=1,45$ und $\rho_w=0,2 \Omega m$.

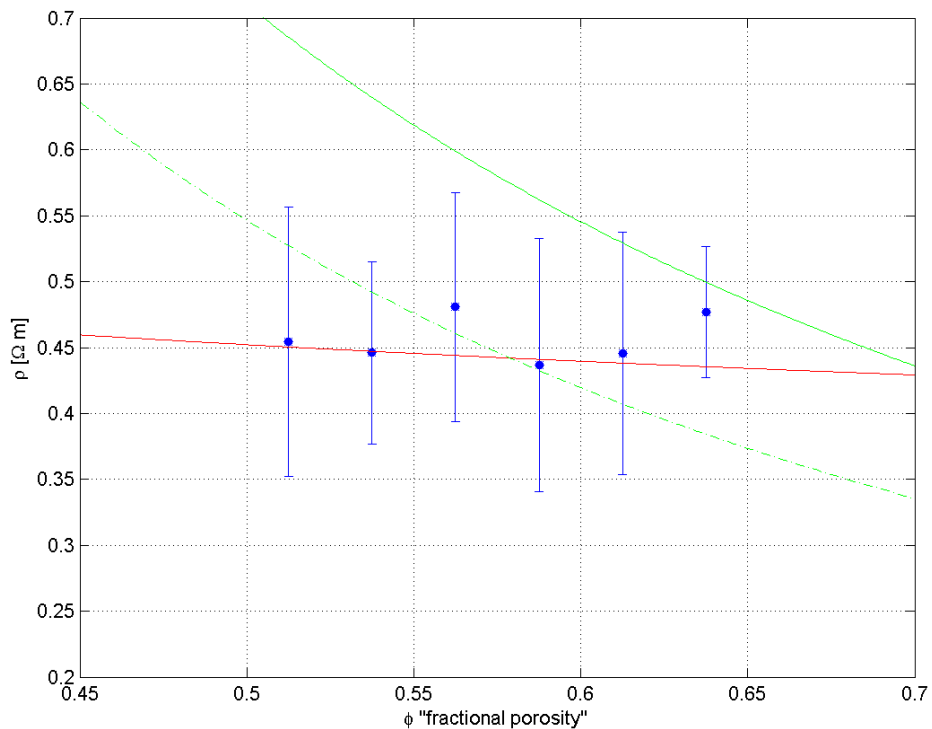


Abb. 24: Spezifischer Widerstand aufgetragen gegen die Porosität. Die rote Kurve ist Fit der Archie-Gleichung an die Datenbasis mit den errechneten Werten für ρ_w und m . Die grüne durchgezogene Kurve ist die Formulierung nach Boyce (1968) mit $a=1,3$, $m=1,45$ und $\rho_w=0,2 \Omega m$, die grüne gestrichelte Kurve mit $a=1$, $m=1,45$ und $\rho_w=0,2 \Omega m$. Es sind die Mittelwerte des spezifischen Widerstands für sieben Klassen der Porosität im Intervall von 0,025 dargestellt. Die Fehlerkreuze kennzeichnen die Standardabweichungen dieser Klassen und liegen zwischen ca. 0,02 Ωm und 0,06 Ωm .

Diskussion

Die grünen durchgezogenen Linien in Abb. 23 und Abb. 23 ist die Formulierung von Archie's Law Gl. 7a mit $a=1,3$ und $m=1,45$ nach Boyce (1968). Die grüne gestrichelte Kurve ist eine Formulierung von Archie's Law mit $a=1$ und $m=1,45$, also einer Abwandlung der Formulierung von Boyce hinsichtlich des Sättigungsfaktors. Diese Kurve verläuft sehr gut durch die Punktwolke. Auch der Fit der Kurve in Abb. 24 liegt innerhalb der Standardabweichungen der einzelnen Klassen. Der Ansatz des Fits durch lineare Regression scheint hier also nicht repräsentativ für die Fragestellung nach der Gültigkeit von Archie's Law in den Sedimenten vor North Pond.

Bei den hier erhaltenen Werten müssen jedoch die verwendeten Daten kritisch betrachtet werden. Zum einen ergab die Messung der spezifischen Widerstände einen Fehler von 10%, wobei außerdem Unsicherheiten durch eine falsche Messkonfiguration bei einigen Kernen auftraten.

Außerdem wurde festgestellt, dass die hier verwendete aus der Gamma-Dichte errechnete Porosität vermutlich um 8% höher liegen müsste. Dieses dürfte bei dem Fit nach der linearisierten Archie-Gleichung (Gl.7b) jedoch weniger eine Zunahme des Wertes für m bewirken als vielmehr eine Zunahme für den spezifischen Widerstand des Meerwassers, da dieser der y -Achsenabschnitt bei der linearen Regression ist. Die Porosität hat zudem eine sehr geringe Bandbreite von ca. 15%. Für eine qualifizierte Aussage über die Gültigkeit oder Ungültigkeit von Archie's Law in den Sedimenten von North Pond ist die Bandbreite der Porosität eigentlich zu gering und die Daten des spezifischen Widerstands eventuell zu fehlerbehaftet.

Insgesamt lässt sich aber sagen, dass die Formulierung von Boyce und die angewandelte Formulierung gute Ergebnisse für die untersuchten Sedimente zeigen. Die Beziehung zwischen Porosität und spezifischem Widerstand, wie sie in Archie's Law formuliert ist, kann also mit den passenden Formationsparameter a und m auch für die Sedimente von North Pond als zutreffend angenommen werden. Die Formationsparameter benötigen sicherlich eine größere Bandbreite der Porosität um genauer bestimmt werden zu können. Die physikalische Annahme einer nichtlinearen Abnahme des spezifischen Widerstands mit zunehmender Porosität ist aber auch hier klar erkennbar.

5.3 Untersuchung der Beziehung zwischen Wärmeleitfähigkeit und Porosität

Die Gesamtwärmeleitfähigkeit eines wassergesättigten Sediments hängt vor allem von der Wärmeleitfähigkeit des Porenwassers und zum anderen von der Wärmeleitfähigkeit der einzelnen Minerale der festen Phase ab. Die Anteile der fluiden und der festen Phase eines Sedimentes werden durch die Porosität des Sediments bestimmt, da diese die Volumenanteile der beiden Phasen festlegt. Bei größerer Porosität hat also das Porenfluid einen größeren Einfluss auf die Gesamtwärmeleitfähigkeit des Sediments. Da die Wärmeleitfähigkeit des Meerwassers kleiner ist als die der Minerale, sinkt also die

Diskussion

Wärmeleitfähigkeit mit zunehmender Porosität, weil der Volumenanteil des Meerwassers mit steigender Porosität ebenfalls steigt. Dieser Zusammenhang soll nun an den Sedimenten von North Pond genauer betrachtet werden.

Die Zusammensetzung der Gesamtwärmeleitfähigkeit verschiedenster Anteile der mineralischen und fluiden Phasen lässt sich am besten durch ein einfaches Modell des geometrischen Mittels aller Anteile zusammenfassen, auch wenn es für dieses Modell keine direkte physikalische Begründung gibt:

$$k = \prod_{j=1}^m k_j^{\phi_j} \quad (\text{Gl.8})$$

mit der Gesamtwärmeleitfähigkeit k und der Wärmeleitfähigkeit der j -ten Phase k_j und deren Volumenanteil ϕ_j . Dabei gilt, dass die Summe aller Volumenanteile ϕ_j von $j=1, \dots, m$ eins ergeben muss (Brigaud und Vasseur, 1989).

Hier soll nun eine Vereinfachung dieses Modells des geometrischen Mittels der Sedimentwärmeleitfähigkeit betrachtet werden, das nur die Anteile des Porenfluids und der festen Mineralphase des Sediments berücksichtigt. Außerdem wird bei den untersuchten Tiefseesedimenten wiederum vollständige Wassersättigung angenommen. Daher besteht die fluide Phase hier nur aus Meerwasser und dessen Volumenanteil ist gleich der Porosität ϕ . Der Volumenanteil der festen Phase ist so $(1-\phi)$. Mit dieser Vereinfachung gilt:

$$k = k_f^{\phi} * k_m^{(1-\phi)} \quad (\text{Gl.9})$$

mit der Sedimentwärmeleitfähigkeit k , der Wärmeleitfähigkeit von Meerwasser $k_f = 0,6 \text{ W/m} * \text{K}$, der Wärmeleitfähigkeit der festen Phase k_m und der Porosität ϕ (Brigaud und Vasseur, 1989; Goto und Matsubayashi, 2008).

Anhand der Wärmeleitfähigkeit und der errechneten Porosität soll nun die Gültigkeit des Modells des geometrischen Mittels für die in dieser Arbeit untersuchten Sedimente geprüft werden. Dazu wurde die Beziehung aus Gleichung 9 in eine lineare Form gebracht:

$$\log(k) = (\log(k_f) - \log(k_m)) * \phi + \log(k_m) \quad (\text{Gl.10}).$$

Die lineare Regression von $\log(k)$ in Abhängigkeit von ϕ ergibt für den y -Achsenabschnitt $a = \log(k_m)$ und die Steigung $m = (\log(k_f) - \log(k_m))$. Benutzt man hier zur Linearisierung den Logarithmus zur Basis 10 ergibt sich $k_m = 10^a$ und $k_f = k_m * 10^m$. Durch Resubstitution in Gl. 9 kann nun das Modell des geometrischen Mittels für die untersuchten Sedimente von North Pond errechnet werden.

Diskussion

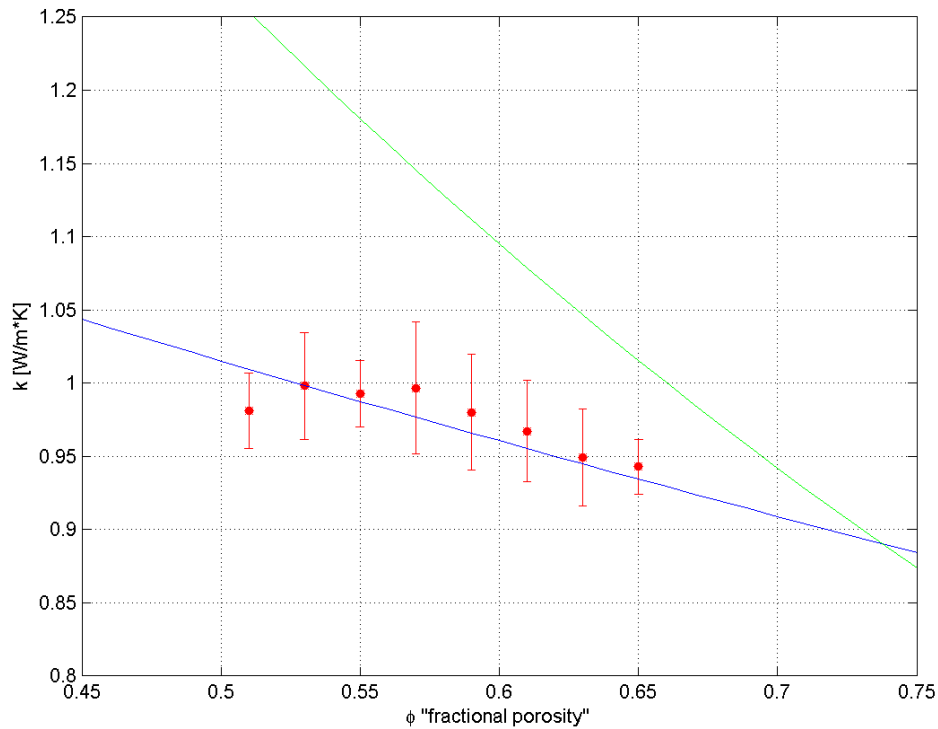


Abb. 25: Wärmeleitfähigkeit aufgetragen gegen die Porosität. Die blaue Kurve ist der Fit des Modells des geometrischen Mittels mit den errechneten Werten für k_f und k_m . Die grüne Kurve ist das Modell des geometrischen Mittels mit $k_f=0,6$ W/m*K und $k_m=2,7$ W/m*K. Es sind die Mittelwerte der Wärmeleitfähigkeit für acht Klassen der Porosität im Intervall von 0,02 dargestellt. Die Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichungen dieser Klassen und liegen zwischen ca. 0,02 W/m*K und 0,05 W/m*K.

In Abb. 25 sind die Mittelwerte der Wärmeleitfähigkeit in acht Klassen der Porosität mit einer Klassengröße von 0,02 von 0,5 bis 0,66 dargestellt. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichungen der Wärmeleitfähigkeit der jeweiligen Klasse mit Werten zwischen 0,02 W/m*K bis 0,05 W/m*K. Das errechnete Modell (blaue Kurve) zeigt einen recht guten Fit für die untersuchten Daten. Die Werte dieses Modells betragen für $k_f=0,7704$ W/m*K und für $k_m=1,3376$ W/m*K.

In der Literatur wird die Wärmeleitfähigkeit von Meerwasser standardmäßig mit 0,6 W/m*K angegeben. Der aus den untersuchten Daten errechnete Wert liegt also um 0,1704 W/m*K höher und zeigt somit eine Abweichung um 28,4% gegenüber dem Literaturwert nach Brigaud und Vasseur (1989).

Die Wärmeleitfähigkeit von der festen Phase setzt sich aus den Anteilen verschiedener Minerale zusammen. Die untersuchten Sedimente bestehen zu großen Anteilen aus nano-fossil ooze und kleineren Anteilen an Tonmineralen und Foraminiferen der Sandfraktion. Nach Brigaud und Vasseur (1989) nehmen Tonminerale einen durchschnittlichen Wert von 2,0 W/m*K und Calcit einen durchschnittlichen Wert von 3,6 W/m*K an. Demnach müsste die Wärmeleitfähigkeit der festen Phase eindeutig über 2,0 W/m*K bei ungefähr 2,7 W/m*K liegen, wenn man gleiche Anteile an Ton und Calcit annimmt. Der errechnete Wert von $k_m=1,3376$ W/m*K wäre demnach mit einer Differenz von mindestens 0,7 W/m*K, was ungefähr 50% des gemessenen Werts ausmacht, zu klein. Die grüne Kurve in Abb. 25 zeigt ein Modell der Gesamtwärmeleitfähigkeit mit den Werten nach Brigaud und

Diskussion

Vassuer mit $k_f=0,6 \text{ W/m}^*\text{K}$ und $k_m=2,7 \text{ W/m}^*\text{K}$ für eine feste Phase, die zu gleichen Teilen aus Ton mit einer Wärmeleitfähigkeit von $2,0 \text{ W/m}^*\text{K}$ und Calcit mit einer Wärmeleitfähigkeit von $3,4 \text{ W/m}^*\text{K}$ besteht. Diese Kurve liegt deutlich über den vorliegenden Werten.

Goto und Matsubayashi (2008) erhalten für den Kern U1301C der IODP Expedition 301 in tonigen Lagen Werte der Gesamtwärmeleitfähigkeit um $1,12\pm0,12 \text{ W/m}^*\text{K}$ bei einer Porosität von $57,9\%\pm8,6\%$, für „mixed layers“ mit tonigen und sandigen Anteilen Werte von $1,31\pm0,19 \text{ W/m}^*\text{K}$ bei einer Porosität von $47,5\%\pm9,3\%$ und für sandige Lagen $1,57\pm0,16 \text{ W/m}^*\text{K}$ bei einer Porosität von $41,4\%\pm5,2\%$. Diese Werte liegen sämtlich über den hier betrachteten Werten.

Für die Berechnung der Wärmeleitfähigkeit des Meerwassers und der festen Mineralphase wurde aber die aus der Gamma-Dichte errechnete Porosität verwendet. Diese ist vermutlich um 8% zu klein. Betrachtet man Gleichung 10 so ist $a=\log(k_m)$ der y-Achsenabschnitt des Fits und würde mit größeren Werten für die Porosität ebenfalls größer werden. Ein größerer Wert für die Wärmeleitfähigkeit der festen Phase würde eher den Literaturwerten entsprechen. Da aber die Wärmeleitfähigkeit des Meerwassers bei diesem Fit durch $k_f=k_m*10^m$ mit der Steigung des Fits m ebenfalls dann anwachsen würde, und diese hier schon mit der verwendeten Porosität zu groß ist, würden größere, also eventuell korrigierte Werte der Porosität, hier keine Verbesserung bringen.

Die Wärmeleitfähigkeit nimmt aber eindeutig mit steigender Porosität ab. Diese Abhängigkeit kann also im groben auch hier für die Sedimente von North Pond bestätigt werden.

Diese Abweichung vom Modell des geometrischen Mittels könnte vielleicht durch Drainage und Austrocknung des Sedimentkerns erklärt werden, wodurch in der fluiden Phase ein Anteil an Luft mit einberechnet werden müsste, der die Gesamtwärmeleitfähigkeit herabsetzen würde. Da die Messung der Wärmeleitfähigkeit noch an Bord stattfand und das Sediment so kaum Zeit zur Entwässerung oder Austrocknung hatte, ist dies als Ursache aber eher unwahrscheinlich.

6 Schlussfolgerungen

Der zentrale gesteinsphysikalische Parameter dieser Arbeit, die Porosität, wurde auf zwei unterschiedliche Arten bestimmt. Zum einen wurde die Porosität an Proben durch Wiegen, Volumenbestimmung und Trocknung bestimmt, zum anderen anhand der aus der Abschwächung von Gammastrahlen durch das Sediment bestimmten Dichte an einem Multi Sensor Core Logger. Die beiden Methoden ergaben für die Porosität unterschiedliche Werte. Die an Proben gemessene Porosität lag bei allen Kernen im Mittel systematisch um 8% höher als die durch Messung am MSCL bestimmte Dichte. Ein Vergleich der hier erhaltenen Porositätsdaten mit Daten des Bohrlochs 1074 A des OPD-Legs 174, welches ebenfalls in North Pond liegt, zeigte, dass diese Abweichung von am MSCL bestimmter und an Proben gemessener Porosität auch bei der Messung an diesem ODP-Kern auftrat. Eine Ursache für diese Abweichung konnte nicht gefunden werden. Als mögliche Fehler wurden die Vernachlässigung des Wassers bei der Kalibrierung vor Messbeginn am MSCL und eine mögliche Schwankung in der Hochspannungsversorgung des Gamma-Detektors genannt.

Die Untersuchung der empirischen Abhängigkeit des spezifischen Widerstands von der Porosität nach der Formulierung von Archie's Law brachte für einen Sättigungsfaktor von $a=1$ für ein vollständig wassergesättigtes Sediment und einen Zementationsfaktor $m=1,45$, wie ihn Boyce (1968) vorschlägt, für die vorliegende Datenbasis von North Pond ein gutes Ergebnis. Die Werte stimmen relativ gut mit dieser Formulierung von Archie's Law überein. Der Fit nach einer Linearisierung von Archie's Law an die vorliegenden Werte kam jedoch zu keinem vernünftigen Ergebnis. Der für den spezifischen Widerstand des Meerwassers errechnete Wert ist um den Faktor zwei zu groß und der Zementationsfaktor um den Faktor 10 zu klein. Trotz der Unsicherheit bei den Werten der Porosität kann also durch eine an Boyce (1968) angelehnte Formulierung von Archie's Law die Abhängigkeit des spezifischen Widerstands von der Porosität hier aufgezeigt werden.

Die Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit von der Porosität konnte in dieser Arbeit für die Sedimente von North Pond ebenfalls gezeigt werden. Der Versuch einer empirischen Gleichung nach dem geometrischen Mittel der Komponenten des Sediments gewichtet nach ihrem Volumenanteil, also bei dem Porenwasser gewichtet mit der Porosität, konnte hier nicht nachgewiesen werden. Die Werte eines Modells mit Literaturwerten für Wärmeleitfähigkeiten des Meerwassers und der festen Phase des Sediments lagen deutlich über den ermittelten Werten. Die durch eine Linearisierung dieser Beziehung mittels eines Fits an die Messwerte erhaltenen Wärmeleitfähigkeiten lagen deutlich neben Literaturwerten. Die Wärmeleitfähigkeit nimmt aber auch hier mit zunehmender Porosität ab. Somit kann die physikalische Abhängigkeit dieser beiden gesteinsphysikalischer Parameter an diesen Sedimenten bestätigt werden.

Schlussfolgerungen

Schwierigkeiten bei der Auswertung der Daten bereitete die geringe Bandbreite der Werte. Die Porosität erstreckt sich hier nur über eine Bandbreite von ca. 15% zwischen 50% und 65%. Auch die anderen beiden Parameter besitzen keine große Bandbreite, bei der Wärmeleitfähigkeit zwischen Werten von $0,9 \text{ W/m}^*\text{K}$ und $1,1 \text{ W/m}^*\text{K}$ und bei dem spezifischen Widerstand zwischen $0,2 \Omega\text{m}$ und $0,7 \Omega\text{m}$. Eine größere Bandbreite hätte sicher zu besseren Fits und somit zu Werten geführt, die näher an Literaturwerten liegen. Da die Sedimente aber keine andere Bandbreite zulassen, kann hier leider keine Verbesserung der in dieser Arbeit vorgenommen Untersuchungen gemacht werden.

Die Abweichung der mit verschiedener Methode gemessener Porosität sollte noch weiter untersucht werden, da eine Abweichung von 8% nicht unwesentlich ist. Bei der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Wärmeleitfähigkeit und Porosität zum Beispiel, würde eine höhere Porosität eine Verschiebung zu den Werten der Kurve des Modells nach Brigaud und Vasseur bewirken. Auch für zukünftige Untersuchungen wäre die Ursache dieser Abweichung wissenswert. Ein Fehler bei der Messung an Proben sollte durch das an sich einfachere Verfahren schnell auszumachen zu sein, wie z.B. eine zu lange und zu heiße Trocknung toniger Sedimente.

Sollte der Fehler tatsächlich konstant und linear sein, könnte die Differenz einfach zu der errechneten Porosität addiert werden und der Fehler so ausgeglichen werden. Die Regelmäßigkeit dieses Fehlers steht aber nicht fest, da die Fehlerursache nicht ausgemacht werden konnte. Eine Korrektur der Porosität um diesen Wert wäre daher nicht eindeutig gesichert. Es sollten also weitere Untersuchungen zur Fehlererforschung, wie z.B. erneute Kalibrationsmessungen mit Wasser im verwendeten GeoB-Standard durchgeführt werden und der mögliche Effekt des Wassers betrachtet werden. Außerdem könnte die Spannungsquelle des Detektors auf Schwankungen in der Versorgungsspannung hin untersucht werden, die das Energiefenster stören könnten.

7 Danksagung

Diese Arbeit wurde im Fachbereich Geowissenschaften der Universität Bremen in der Arbeitsgruppe Meerestechnik-Sensorik angefertigt. Ich danke allen, die durch ihre Unterstützung zur Erstellung dieser Arbeit beigetragen haben.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Heinrich Villinger für die engagierte Betreuung und Unterstützung, der mich durch stete Diskussionsbereitschaft bei der Erstellung dieser Arbeit auf neue Denkanstöße gebracht hat.

Außerdem möchte ich Herrn Dr. Tilmann Schwenk für die Begutachtung dieser Arbeit herzlich danken.

Desweiteren bedanke ich mich bei Frau Dr. Ursula Röhl für die Ratschläge und ausführlichen Hintergrundinformationen zu der Messung am MSCL und bei Frau Vera Lukies für die technische Betreuung während der Messungen.

Frau Dr. Verena Heuer und Herrn Felix Elling danke ich für die Messung und die ausführlichen Erläuterungen der Porositätsdaten.

Herrn Sebastian Stephan und Frau Friederike Schmidt-Schierhorn danke ich für die Bereitstellung der während der Reise gemessenen Daten und der Unterstützung bei der Auswertung dieser.

Nicht zuletzt möchte ich meinen Eltern danken, die mir durch ihre Unterstützung das Studium ermöglichen und meine Ausbildung mit Anteilnahme verfolgen.

8 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, 54-62

GERLAND, S., M. RICHTER, H. VILLINGER, UND G. KUHN (1993), Non-destructive porosity determination of antarctic marine sediments derived from resistivity measurements with an inductive method, Marine Geophysical Researches, 15, 201-218

BERGMANN, U. (1996), Interpretation digitaler Parasound Echolotaufzeichnungen im östlichen Arktischen Ozean auf der Grundlage physikalischer Sedimenteigenschaften, Ber. Polarforsch. 183

BLUM, P. (1997), Physical properties handbook: a guide to the shipboard measurement of physical properties of deep-sea cores, ODP Tech. Note, 26 [Online], <http://www-odp.tamu.edu/publications/tnotes/tn26/INDEX.HTM>

VON HERZEN, R. UND A. E. MAXWELL (1959), The measurements of thermal conductivity of deep-sea sediments by a needle probe method, Journal of Geophysical Research, 64, 1557-1563

MUSSET, A. E. UND M. A. KHAN (2000), Look into the earth: an introduction to geological geophysics, Cambridge Univ. Press, Cambridge

WEBER, M., E., F. NIESSEN, G. KUHN UND M. WIEDICKE (1997), Calibration and application of marine sedimentary physical properties using a multi-sensor core logger, Marine Geology, 136, 151-172

BRIGAUD, F. UND G. VASSEUR (1989), Mineralogy, porosity and fluid control on thermal conductivity of sedimentary rocks, Geophysical Journal, 98, 525-542

GOTO, S. UND O. MATSUBAYASHI (2008), Inversion of needle-probe data for sediment thermal properties of eastern flank of the Juan de Fuca Ridge, Journal of Geophysical Research, 113, doi:10.1029/2007JB005119

GEOTEK Multi-Sensor Core Logger – Manual (2008), Geotek Ltd., Daventry, Northants, UK

BREITZKE, M. (2006), Physical properties of Marine Sediments, In: H.D. Schulz und M. Zabel (Eds.) Marine Geochemistry, Springer Verlag, Berlin, 2nd revised, updated and extended edition, 27-71, 2006, [10013/epic.24821](#)

FRICKE, S. UND J. SCHÖN (1999), Praktische Bohrlochgeophysik, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 1999

SHIPBOARD SCIENTIFIC PARTY (1998), Site 1074, In: Becker, K., M. J. Malone et al., Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports, 174B: College Station, TX (Ocean Drilling Program), 25–35

VILLINGER, H., M. G. LANGSETH, H. M. GRÖSCHEL-BECKER UND A. T. FISHER (1994), Estimating in-situ thermal conductivity from log data, Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, 139, 545-552

9 Anhang

Messergebnisse der Schwerelotkerne

GeoB 13502-1.....	46
GeoB 13503-1.....	50
GeoB 13506-1.....	54
GeoB 13507-1.....	58
GeoB 13508-1.....	62
GeoB 13509-1.....	66
GeoB 13510-1.....	70
GeoB 13511-1.....	74
GeoB 13513-1.....	78

MATLAB-Routinen

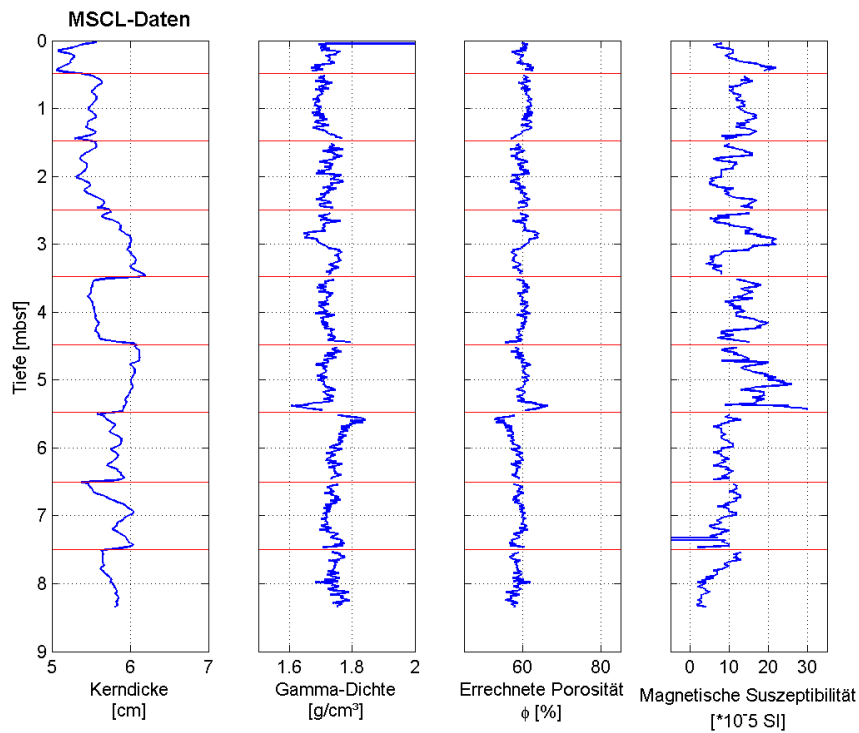
MATLAB-Routine 1: createall.m.....	82
MATLAB-Routine 2: alldata.m.....	95

Daten-CD

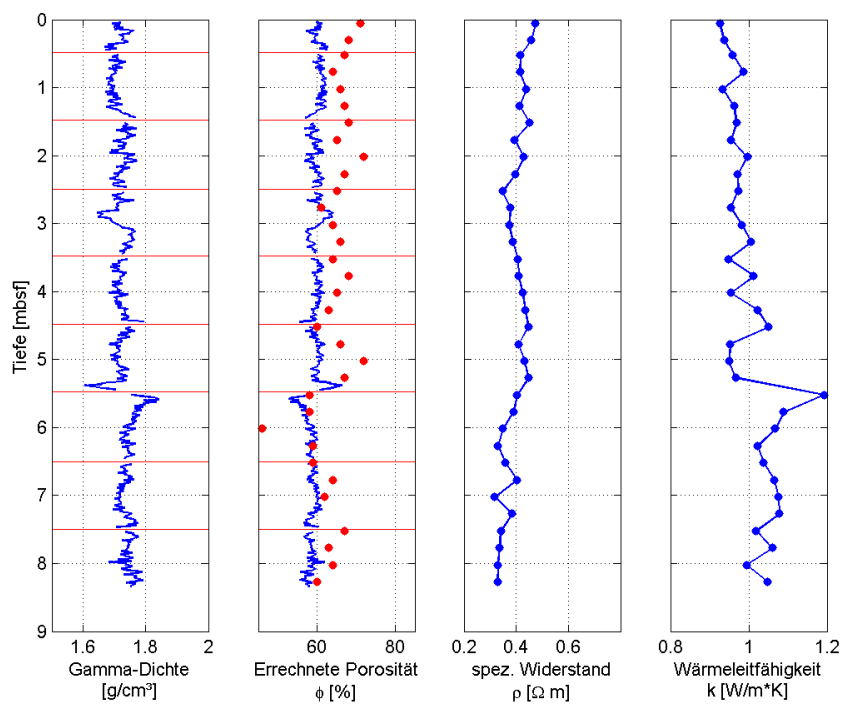
Die beigelegte Daten-CD enthält:

- MSCL-Rohdaten und editierte MSCL-Daten, inklusive der Kalibrierungsdateien
- Rohdaten der Messung des elektrischen Widerstands als mat-Files
- Daten der Messung der Wärmeleitfähigkeit als mat-Files
- Daten der Porositätsmessung an Proben
- MAD- und Bulk-Density-Daten des ODP-Legs 174 Hole 1074A bis 9 mbsf
- MATLAB-Routinen createall.m und alldata.m
- mat-Files der zusammengefassten Kerndaten und der statistischen Kennwerte der Gesamtdatenbasis der gemessenen Parameter

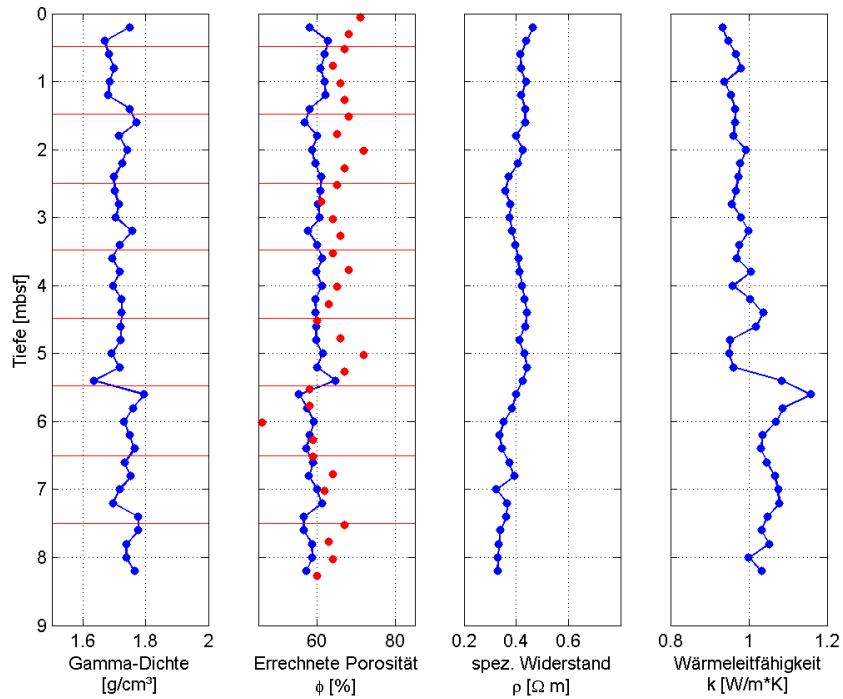
Messergebnisse des Sedimentkerns GeoB 13502-1



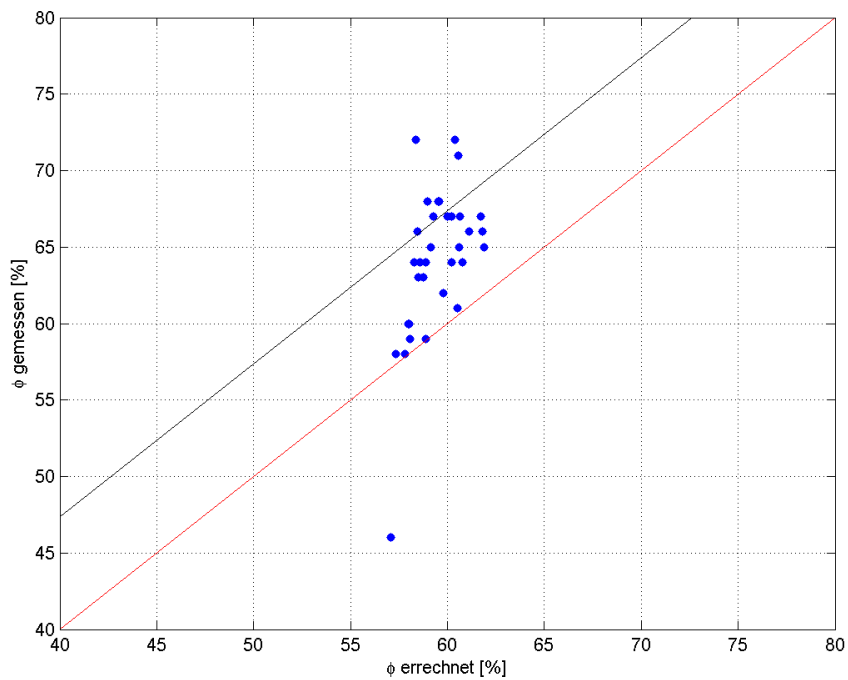
Anh. 1: Am MSCL gemessene Rohdaten der Kerndicke, Gamma-Dichte, der daraus errechneten Porosität und die magnetische Suszeptibilität aufgetragen gegen die Kerntiefe unterhalb des Meeresbodens. Die roten horizontalen Linien stellen die Sektionswechsel bei der Messung dar.



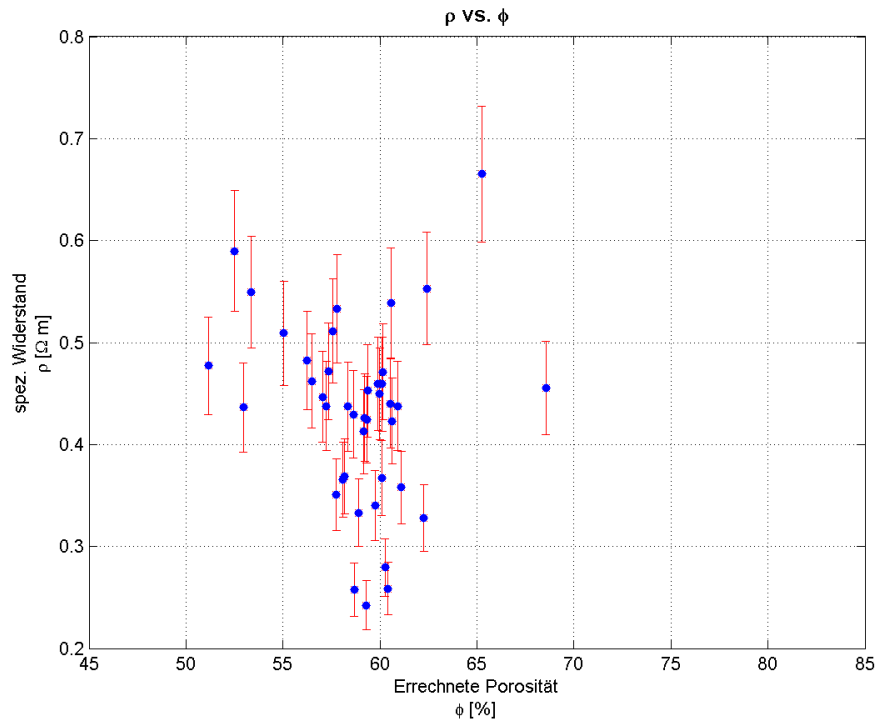
Anh. 2: Daten der Gamma-Dichte, der daraus errechneten Porosität, des spezifischen Widerstands und der Wärmeleitfähigkeit aufgetragen gegen die Kerntiefe unterhalb des Meeresbodens. Die horizontalen roten Linien zeigen wiederum die Sektionswechsel bei der Messung am MSCL, die roten Datenpunkte stellen die an Proben gemessene Porosität dar.



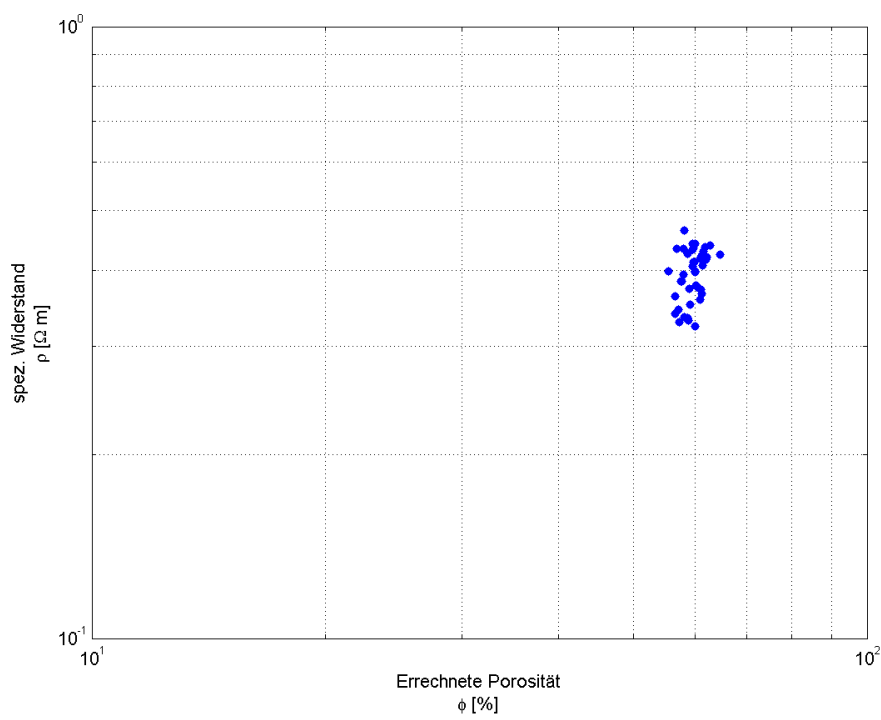
Anh. 3: Auf eine gemeinsame Tiefenskala mit einem Inkrement von 20cm interpolierte Werte der Gamma-Dichte, errechneter Porosität, des spezifischen Widerstands und der Wärmeleitfähigkeit. Die durch rote Punkte dargestellte gemessene Porosität wurde nicht interpoliert.



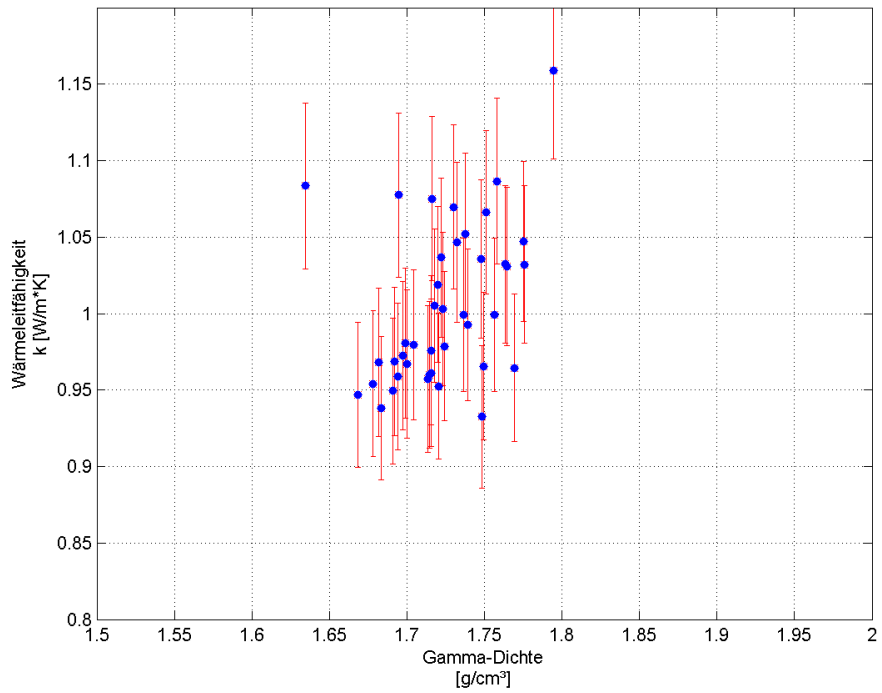
Anh. 4: Errechnete Porosität in Prozent aufgetragen gegen die gemessene Porosität. Wären beide Porositäten identisch müssten sie idealerweise auf der roten Linie liegen, die ein Verhältnis beider Porositäten von 1:1 angeben würde.



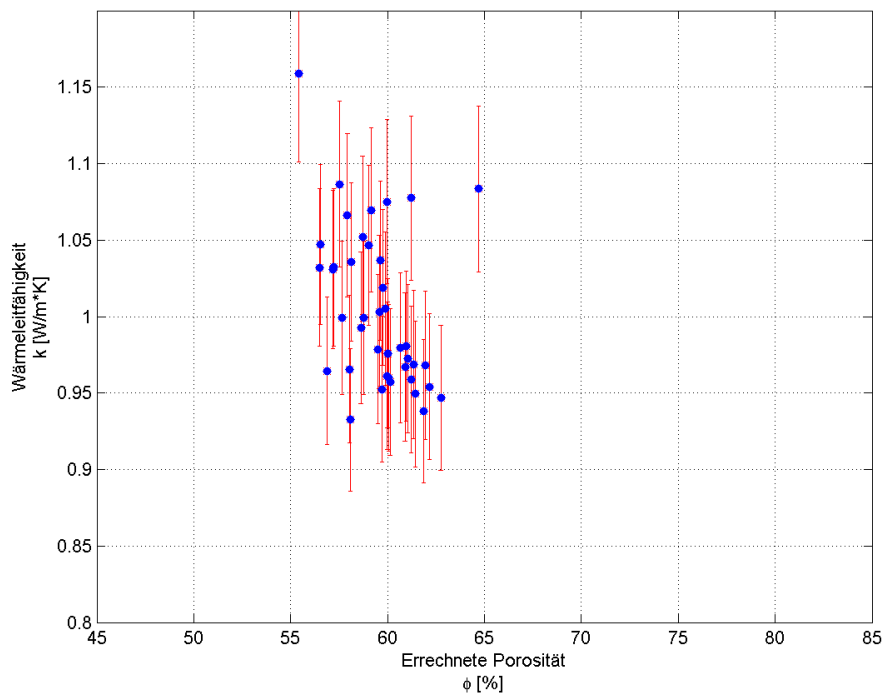
Anh. 5: Spezifischer Widerstand aufgetragen gegen errechnete Porosität. Die roten Fehlerbalken oben geben den Fehler des spezifischen Widerstands mit 10% an.



Anh. 6: Spezifischer Widerstand aufgetragen gegen errechnete Porosität in doppellogarithmischer Darstellung. Die roten Fehlerbalken oben geben den Fehler des spezifischen Widerstands mit 10% an

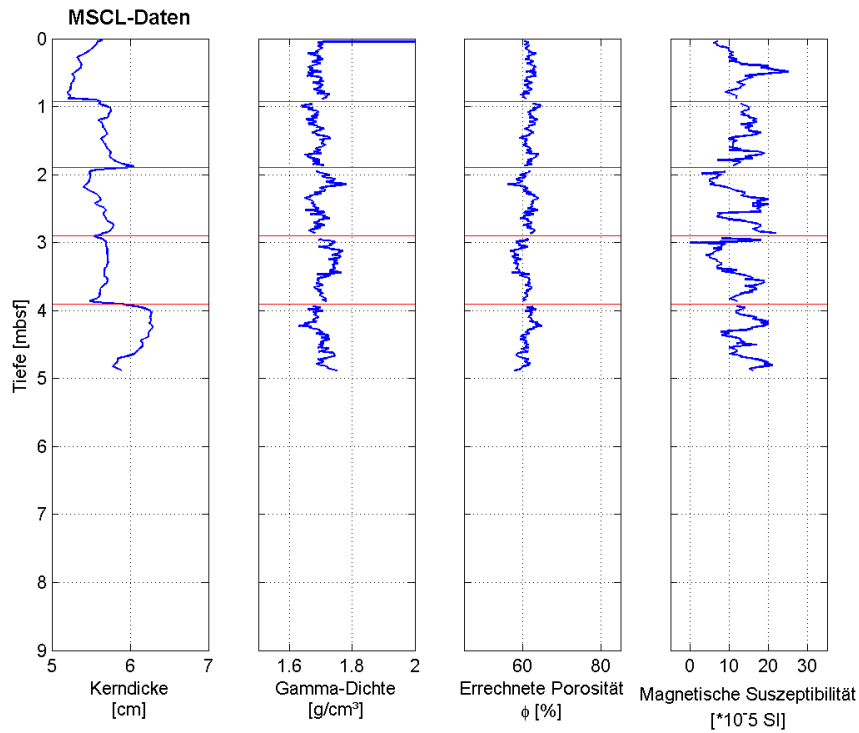


Anh. 7: Wärmeleitfähigkeit aufgetragen gegen Gamma-Dichte. Die roten Fehlerbalken geben den Fehler der Wärmeleitfähigkeit mit 5% an.

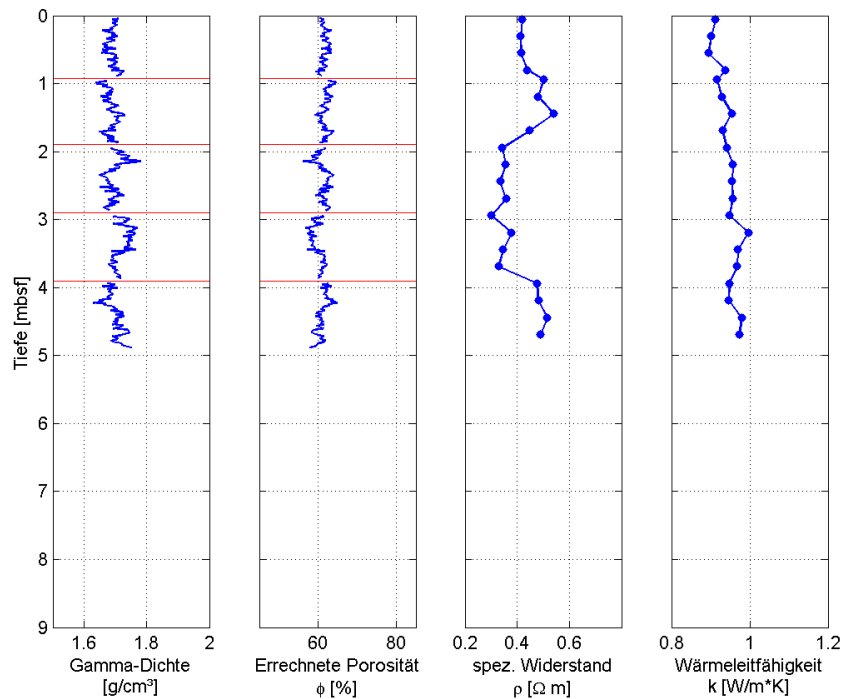


Anh. 8: Wärmeleitfähigkeit aufgetragen gegen die errechnete Porosität. Die roten Fehlerkreuze geben den Fehler der Wärmeleitfähigkeit mit 5% an.

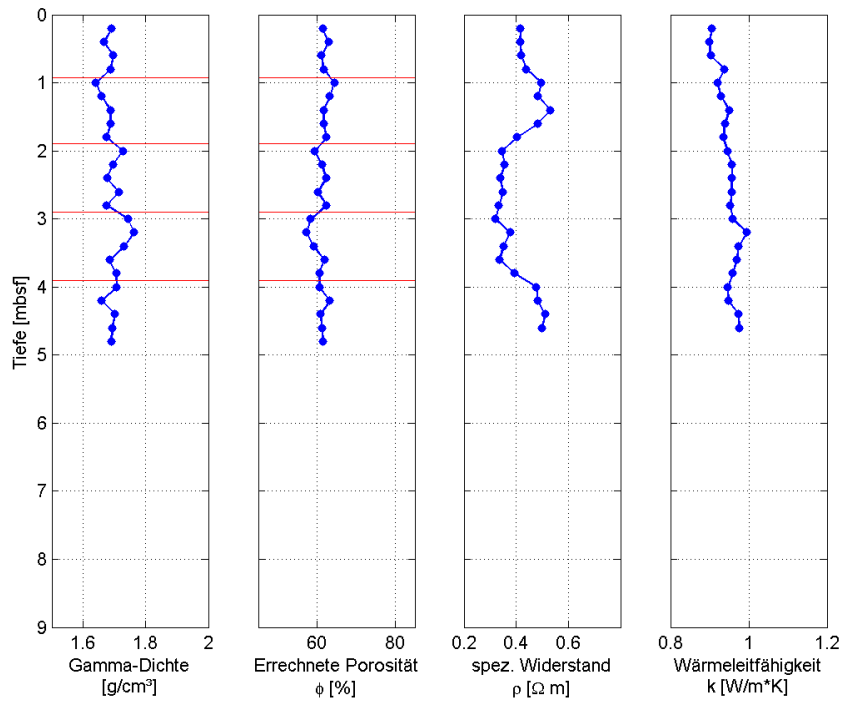
Messergebnisse des Sedimentkerns GeoB 13503-1



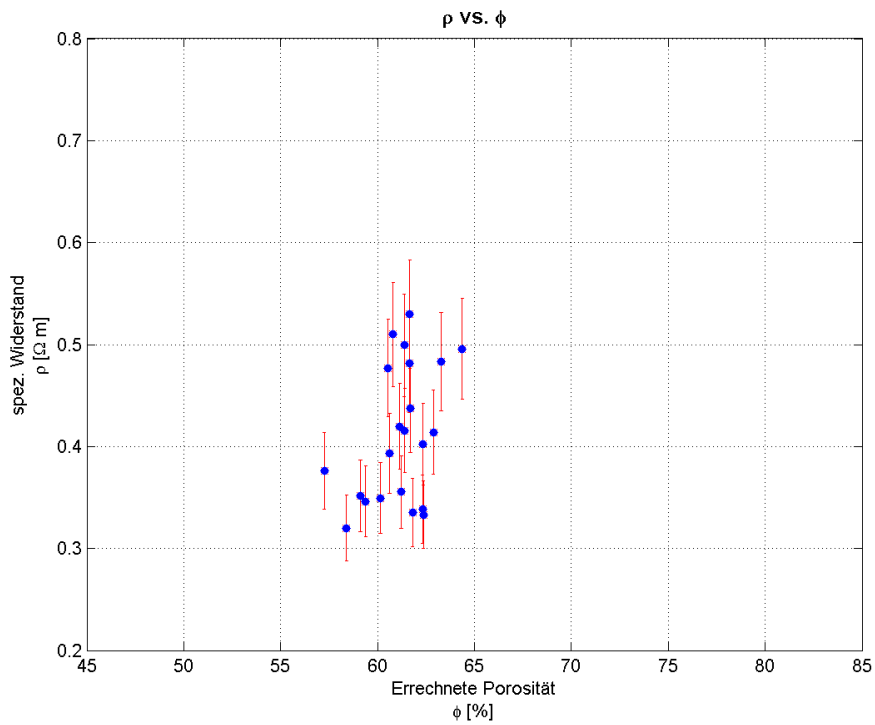
Anh. 9: Am MSCL gemessene Rohdaten der Kerndicke, Gamma-Dichte, der daraus errechneten Porosität und die magnetische Suszeptibilität aufgetragen gegen die Kerntiefe unterhalb des Meeresbodens. Die roten horizontalen Linien stellen die Sektionswechsel bei der Messung dar.



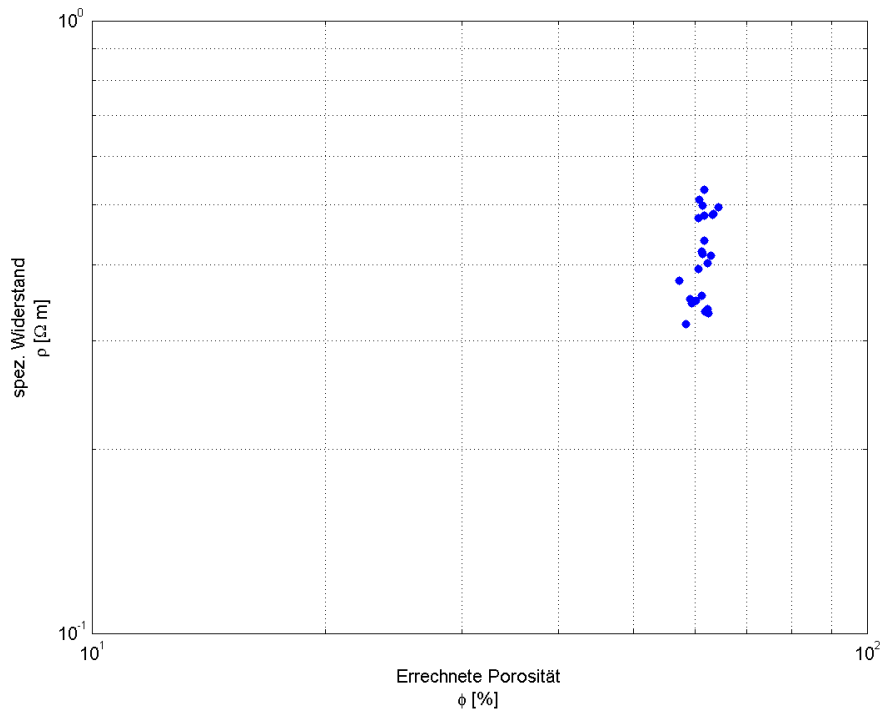
Anh. 10: Daten der Gamma-Dichte, der daraus errechneten Porosität, des spezifischen Widerstands und der Wärmeleitfähigkeit aufgetragen gegen die Kerntiefe unterhalb des Meeresbodens. Die horizontalen roten Linien zeigen wiederum die Sektionswechsel bei der Messung am MSCL.



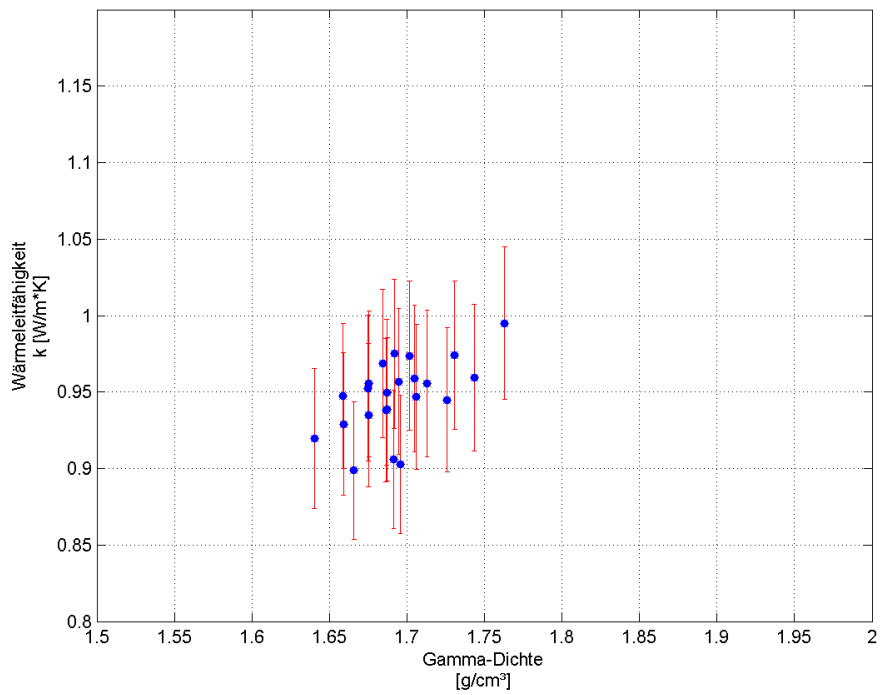
Anh. 11: Auf eine gemeinsame Tiefenskala mit einem Inkrement von 20cm interpolierte Werte der Gamma-Dichte, errechneter Porosität, des spezifischen Widerstands und der Wärmeleitfähigkeit. Die durch rote Punkte dargestellte gemessene Porosität wurde nicht interpoliert.



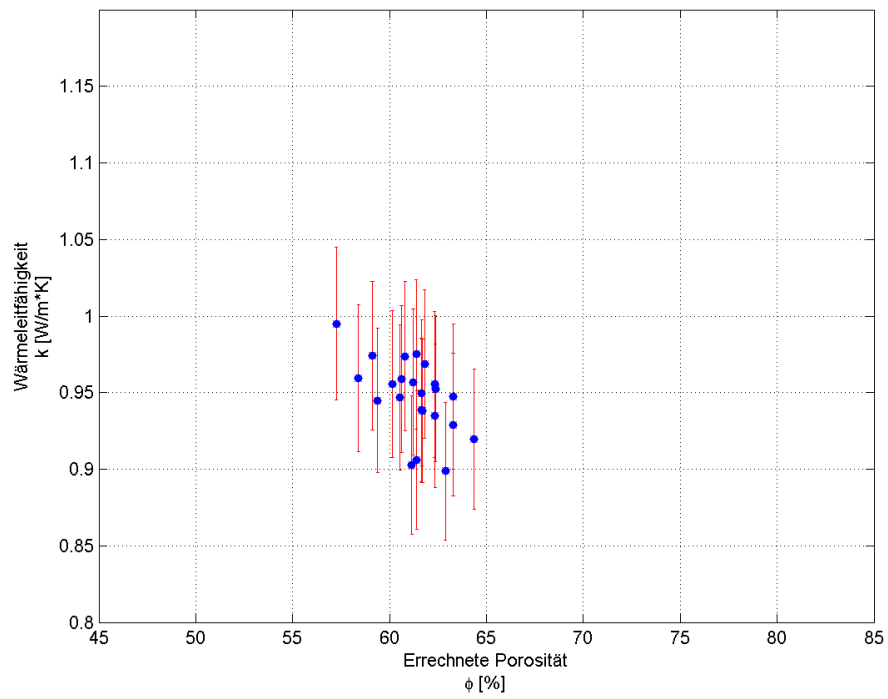
Anh. 12: Spezifischer Widerstand aufgetragen gegen errechnete Porosität. Die roten Fehlerbalken oben geben den Fehler des spezifischen Widerstands mit 10% an.



Anh. 13: Spezifischer Widerstand aufgetragen gegen errechnete Porosität in doppellogarithmischer Darstellung. Die roten Fehlerbalken oben geben den Fehler des spezifischen Widerstands mit 10% an.

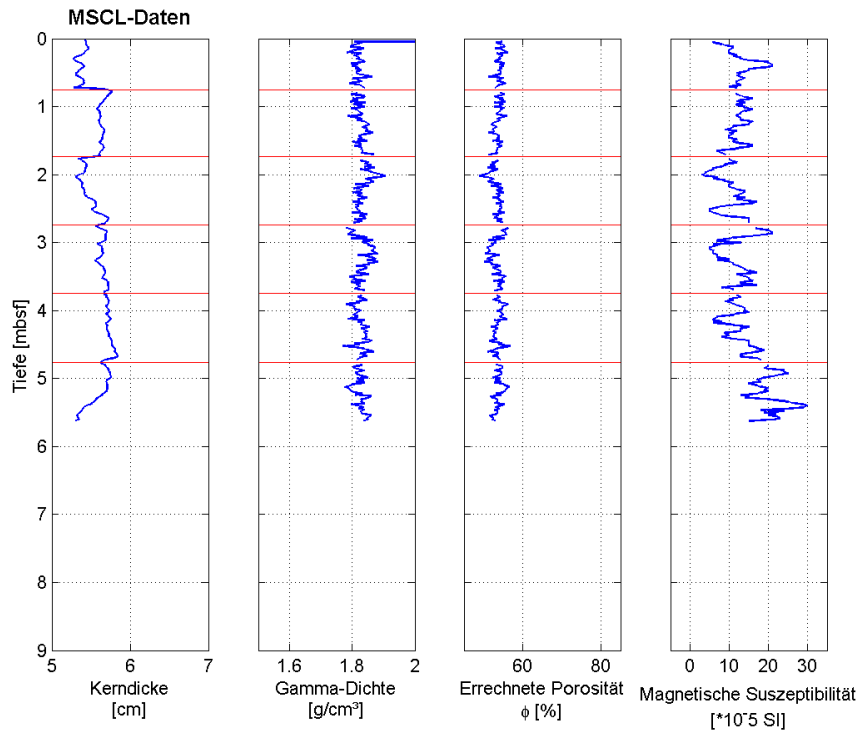


Anh. 14: Wärmeleitfähigkeit aufgetragen gegen Gamma-Dichte. Die roten Fehlerbalken geben den Fehler der Wärmeleitfähigkeit mit 5% an.

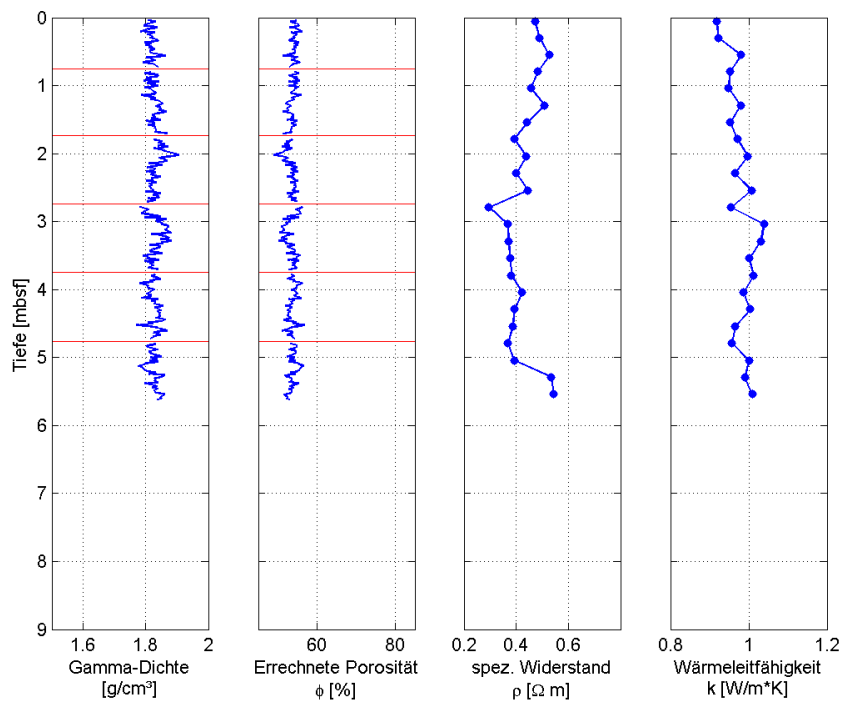


Anh. 15: Wärmeleitfähigkeit aufgetragen gegen die errechnete Porosität. Die roten Fehlerkreuze geben den Fehler der Wärmeleitfähigkeit mit 5% an.

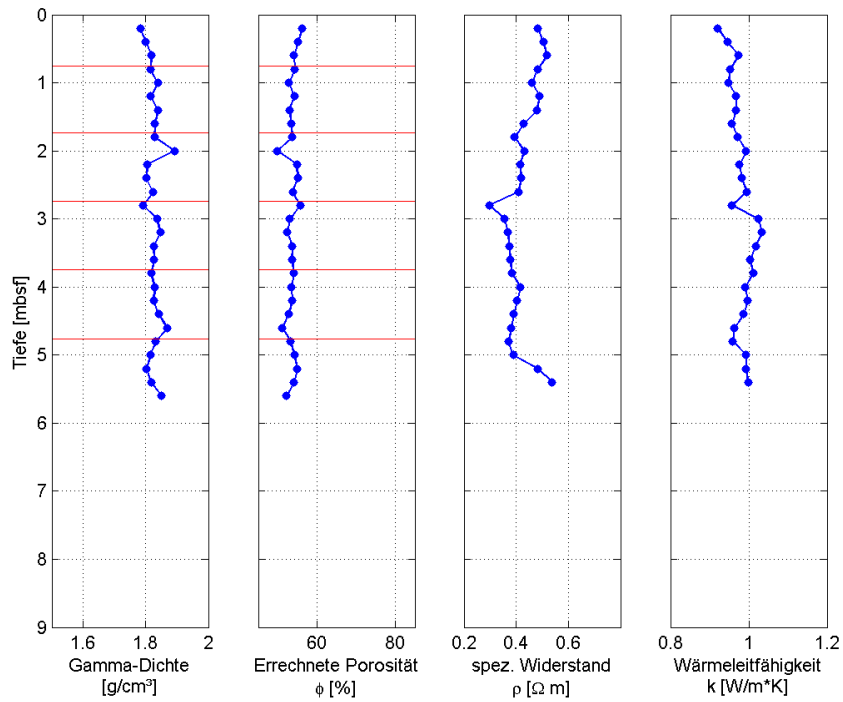
Messergebnisse des Sedimentkerns GeoB 13506-1



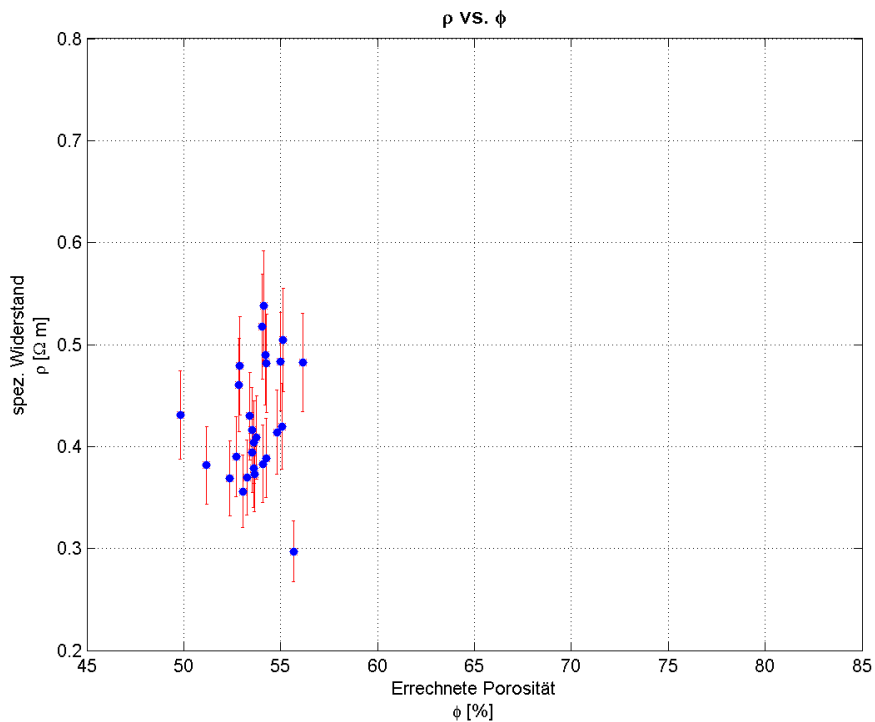
Anh. 16: Am MSCL gemessene Rohdaten der Kerndicke, Gamma-Dichte, der daraus errechneten Porosität und die magnetische Suszeptibilität aufgetragen gegen die Kerntiefe unterhalb des Meeresbodens. Die roten horizontalen Linien stellen die Sektionswechsel bei der Messung dar.



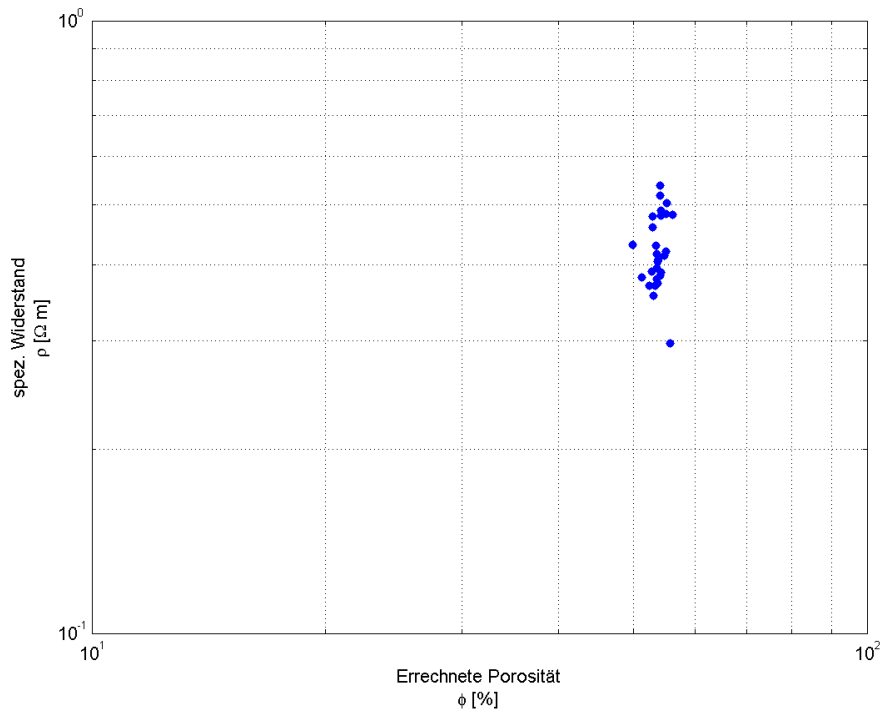
Anh. 17: Daten der Gamma-Dichte, der daraus errechneten Porosität, des spezifischen Widerstands und der Wärmeleitfähigkeit aufgetragen gegen die Kerntiefe unterhalb des Meeresbodens. Die horizontalen roten Linien zeigen wiederum die Sektionswechsel bei der Messung am MSCL.



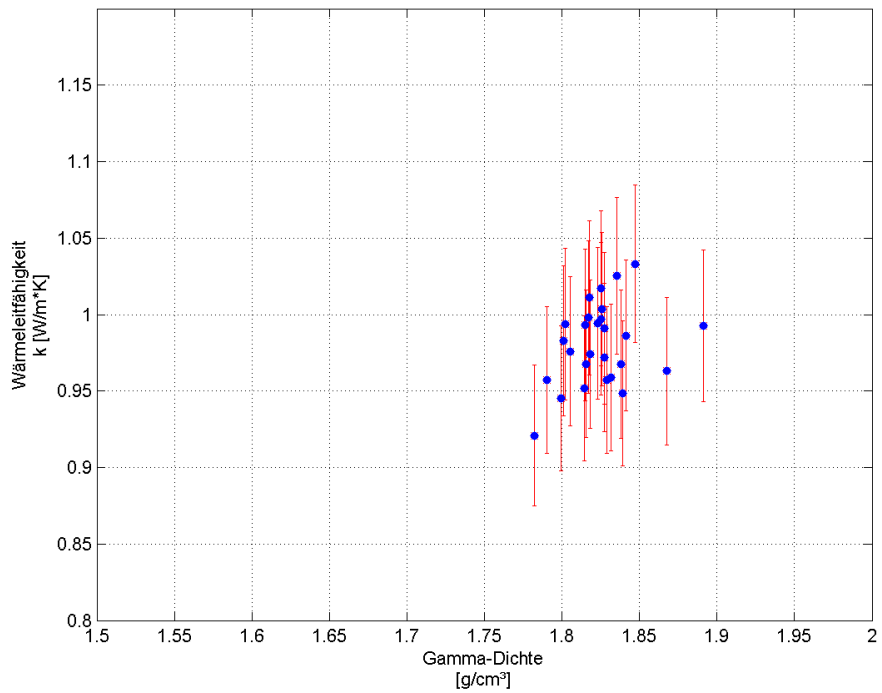
Anh. 18: Auf eine gemeinsame Tiefenskala mit einem Inkrement von 20cm interpolierte Werte der Gamma-Dichte, errechneter Porosität, des spezifischen Widerstands und der Wärmeleitfähigkeit. Die durch rote Punkte dargestellte gemessene Porosität wurde nicht interpoliert.



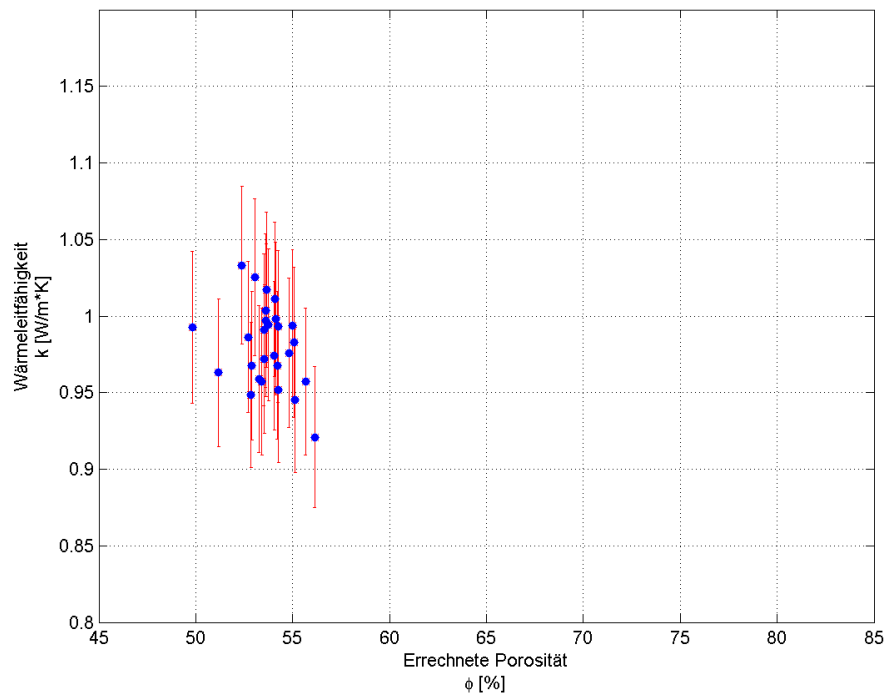
Anh. 19: Spezifischer Widerstand aufgetragen gegen errechnete Porosität. Die roten Fehlerbalken oben geben den Fehler des spezifischen Widerstands mit 10% an.



Anh. 20: Spezifischer Widerstand aufgetragen gegen errechnete Porosität in doppellogarithmischer Darstellung. Die roten Fehlerbalken oben geben den Fehler des spezifischen Widerstands mit 10% an.

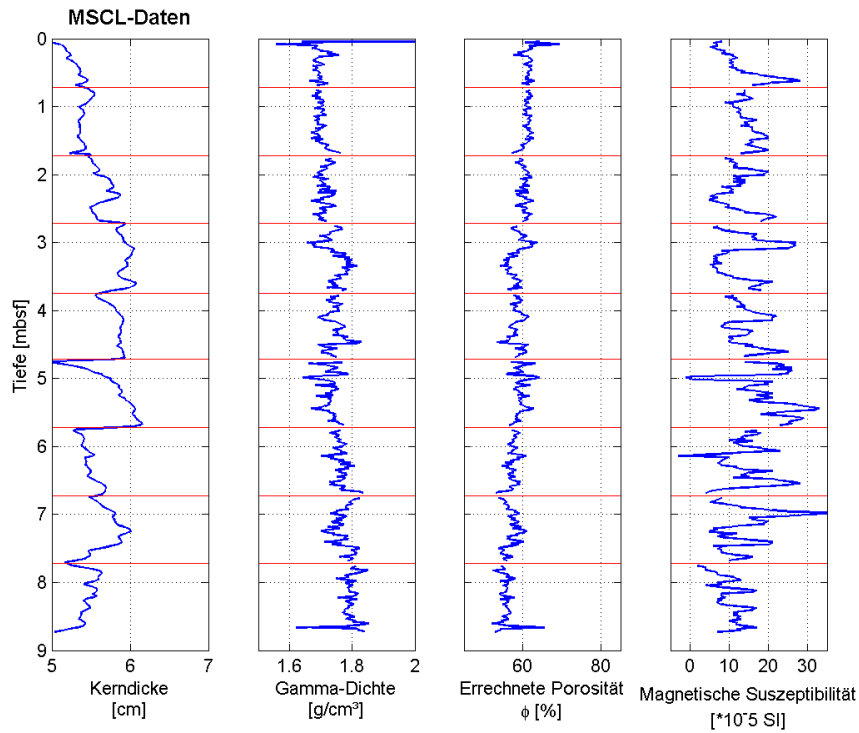


Anh. 21: Wärmeleitfähigkeit aufgetragen gegen Gamma-Dichte. Die roten Fehlerbalken geben den Fehler der Wärmeleitfähigkeit mit 5% an.

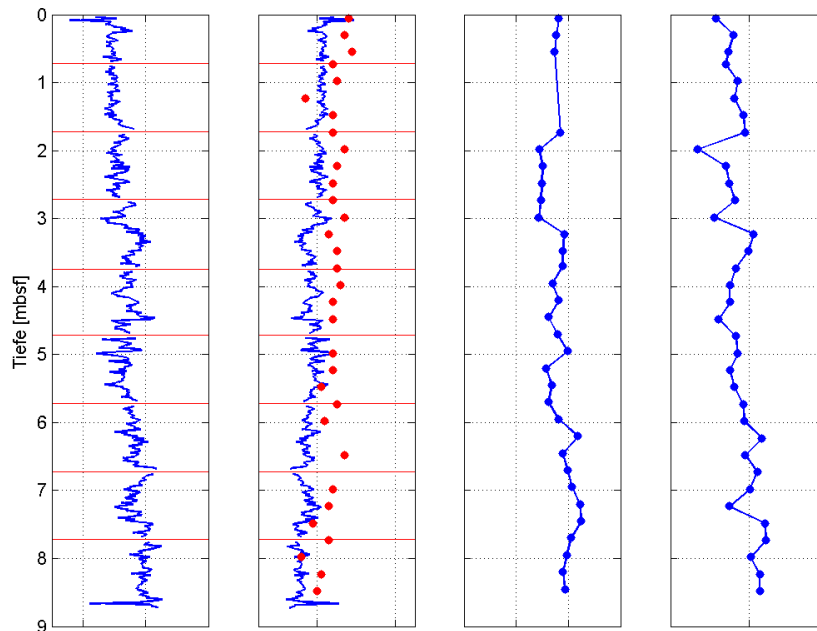


Anh. 22: Wärmeleitfähigkeit aufgetragen gegen die errechnete Porosität. Die roten Fehlerkreuze geben den Fehler der Wärmeleitfähigkeit mit 5% an.

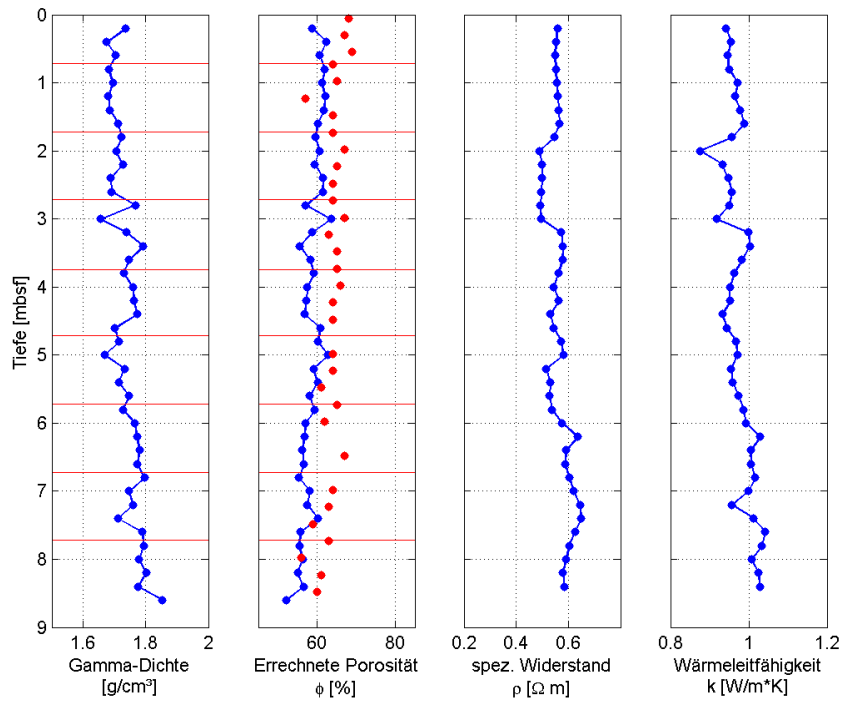
Messergebnisse des Sedimentkerns GeoB 13507-1



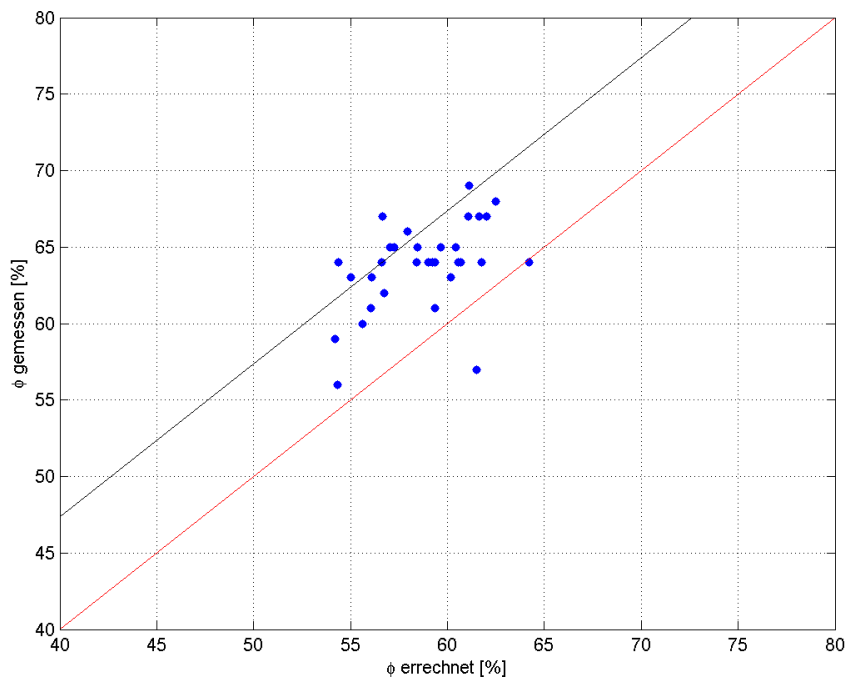
Anh. 23: Am MSCL gemessene Rohdaten der Kerndicke, Gamma-Dichte, der daraus errechneten Porosität und die magnetische Suszeptibilität aufgetragen gegen die Kerntiefe unterhalb des Meeresbodens. Die roten horizontalen Linien stellen die Sektionswechsel bei der Messung dar.



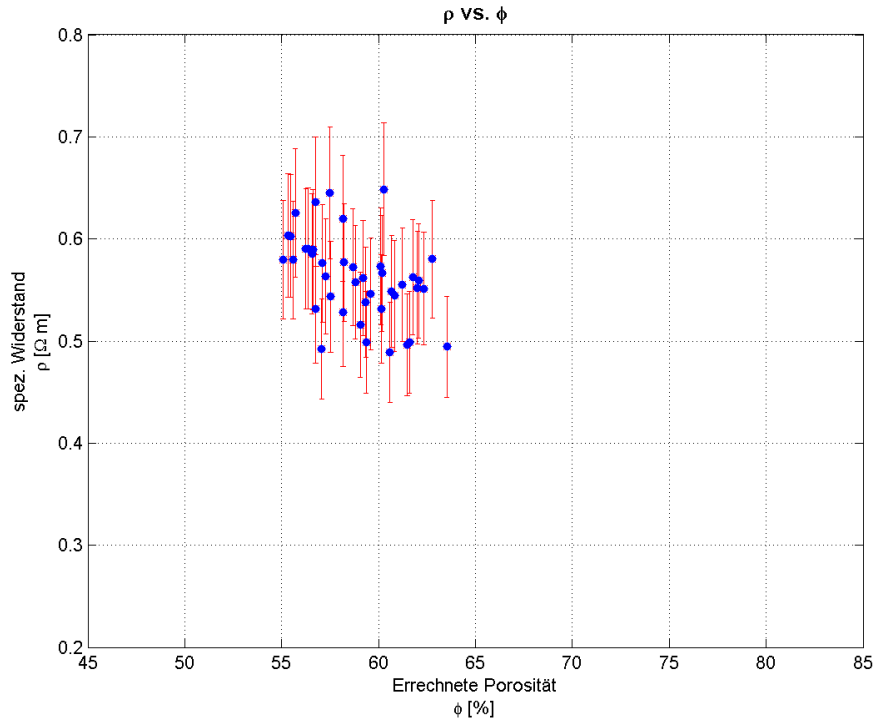
Anh. 24: Daten der Gamma-Dichte, der daraus errechneten Porosität, des spezifischen Widerstands und der Wärmeleitfähigkeit aufgetragen gegen die Kerntiefe unterhalb des Meeresbodens. Die horizontalen roten Linien zeigen wiederum die Sektionswechsel bei der Messung am MSCL, die roten Datenpunkte stellen die an Proben gemessene Porosität dar.



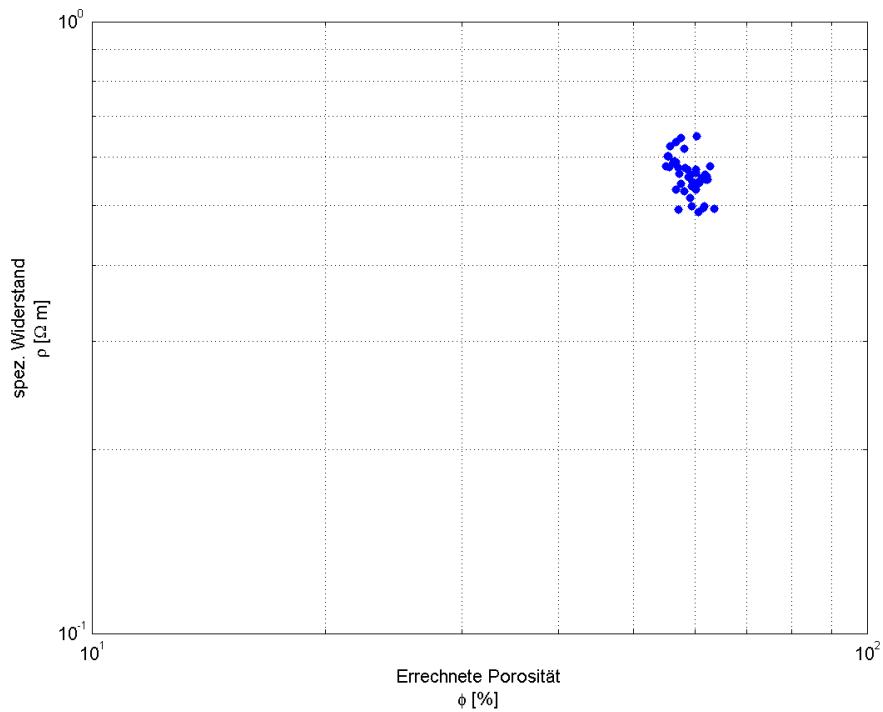
Anh. 25: Auf eine gemeinsame Tiefenskala mit einem Inkrement von 20cm interpolierte Werte der Gamma-Dichte, errechneter Porosität, des spezifischen Widerstands und der Wärmeleitfähigkeit. Die durch rote Punkte dargestellte gemessene Porosität wurde nicht interpoliert.



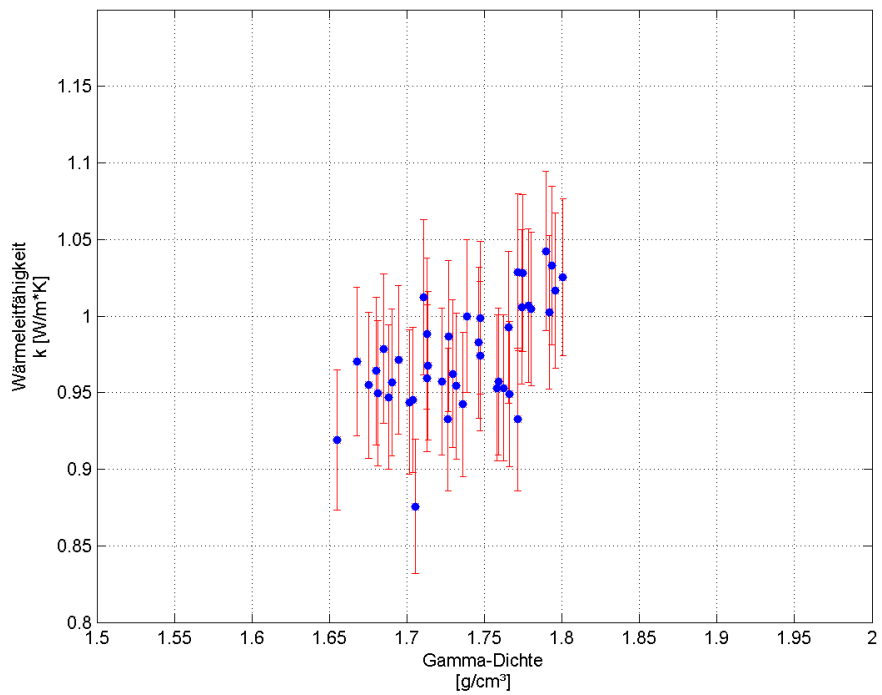
Anh. 26: Errechnete Porosität in Prozent aufgetragen gegen die gemessene Porosität. Wären beide Porositäten identisch müssten sie idealerweise auf der roten Linie liegen, die ein Verhältnis beider Porositäten von 1:1 angeben würde.



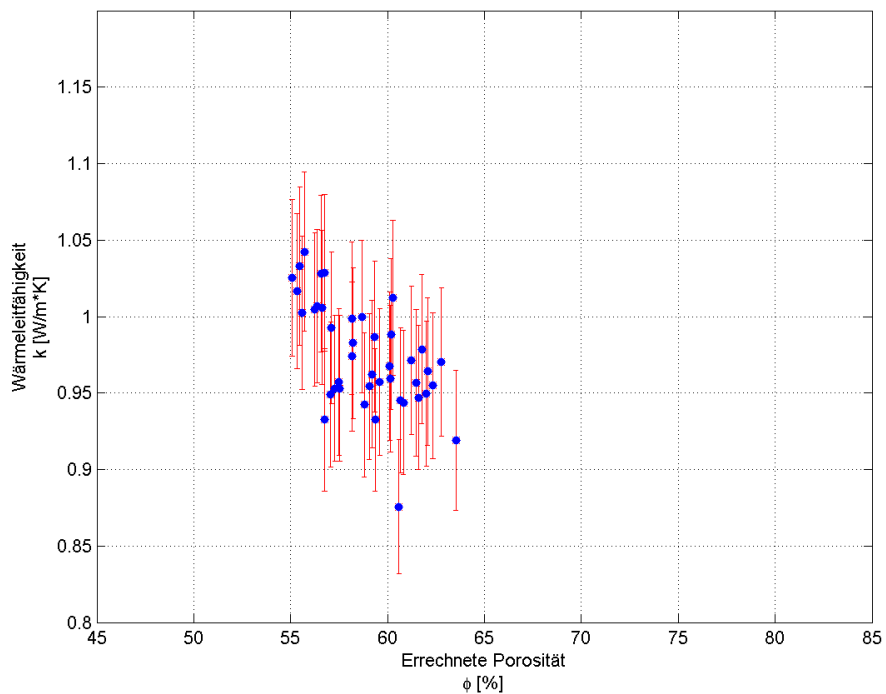
Anh. 27: Spezifischer Widerstand aufgetragen gegen errechnete Porosität. Die roten Fehlerbalken oben geben den Fehler des spezifischen Widerstands mit 10% an.



Anh. 28: Spezifischer Widerstand aufgetragen gegen errechnete Porosität in doppellogarithmischer Darstellung. Die roten Fehlerbalken oben geben den Fehler des spezifischen Widerstands mit 10% an.

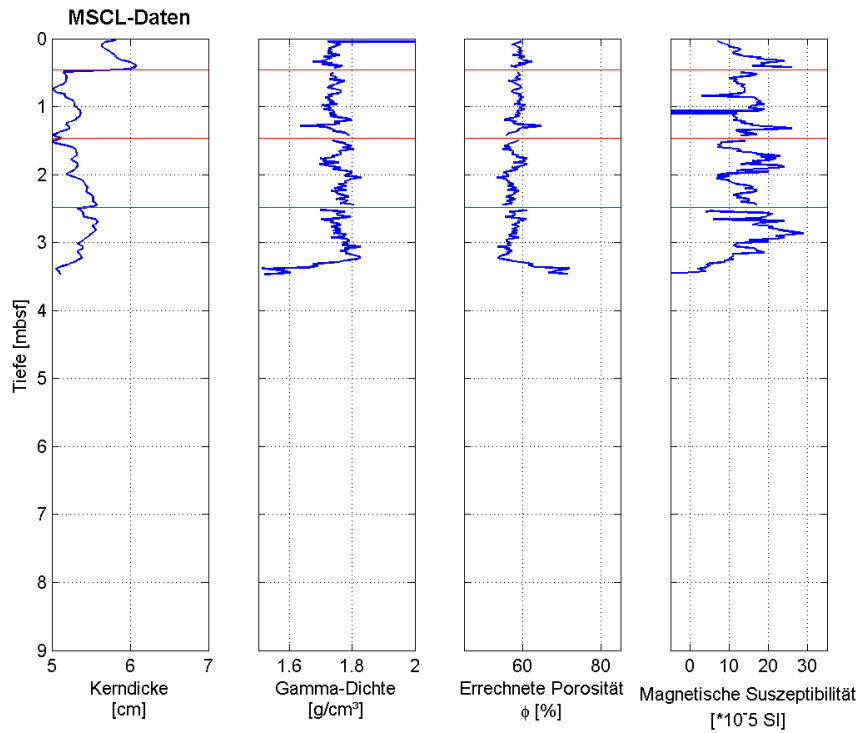


Anh. 29: Wärmeleitfähigkeit aufgetragen gegen Gamma-Dichte. Die roten Fehlerbalken geben den Fehler der Wärmeleitfähigkeit mit 5% an.

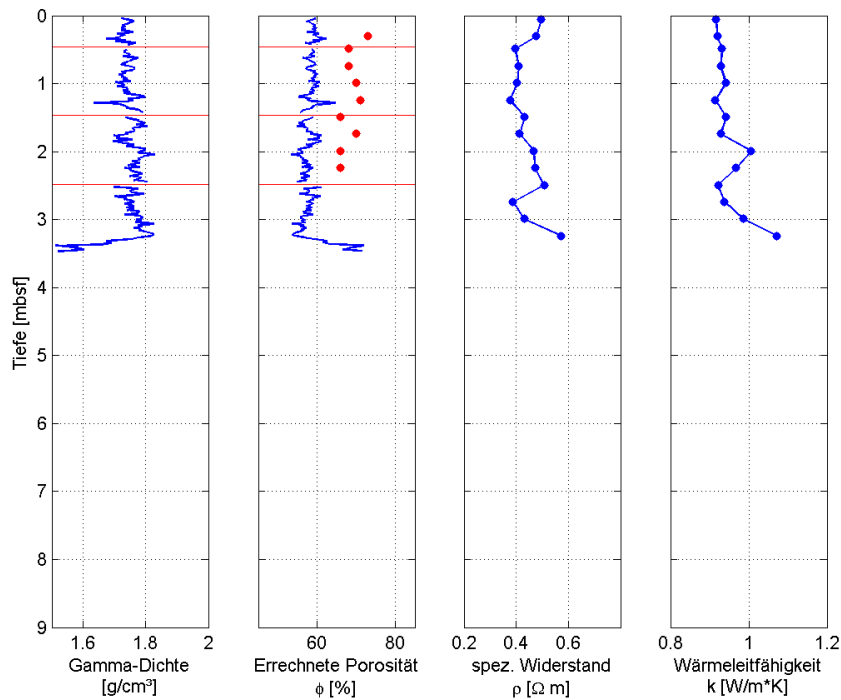


Anh. 30: Wärmeleitfähigkeit aufgetragen gegen die errechnete Porosität. Die roten Fehlerkreuze geben den Fehler der Wärmeleitfähigkeit mit 5% an.

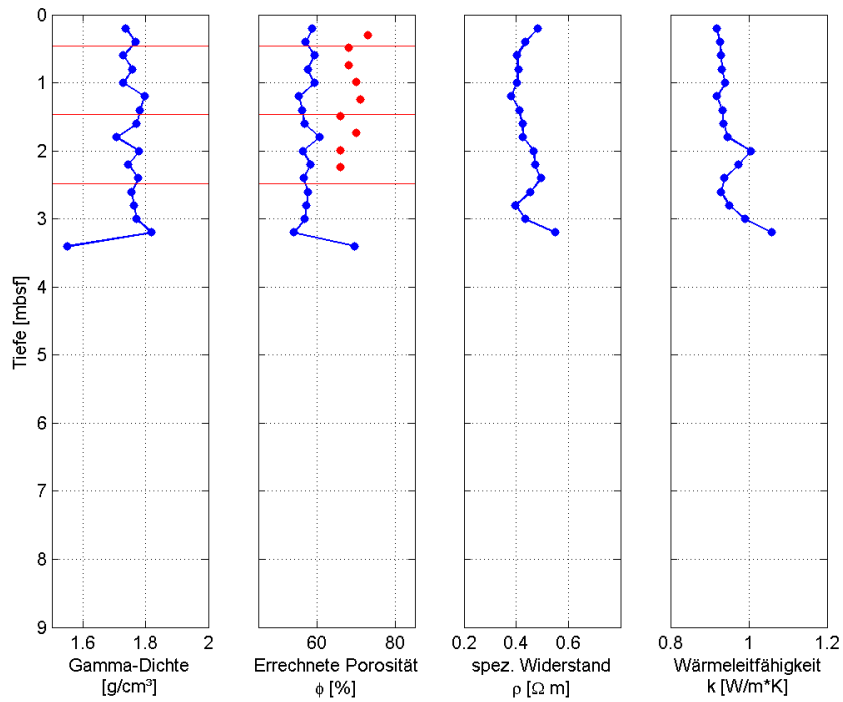
Messergebnisse des Sedimentkerns GeoB 13508-1



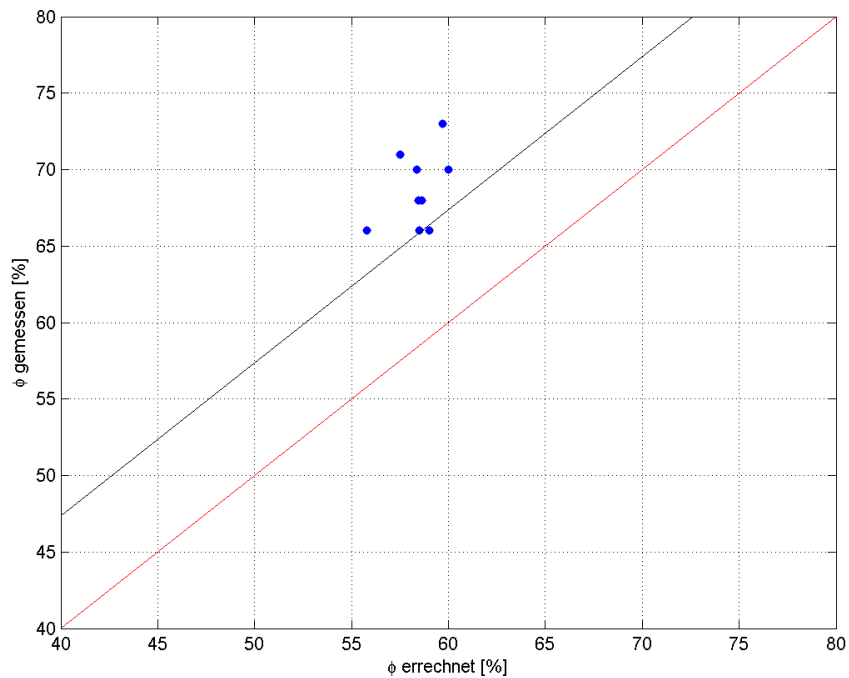
Anh. 31: Am MSCL gemessene Rohdaten der Kerndicke, Gamma-Dichte, der daraus errechneten Porosität und die magnetische Suszeptibilität aufgetragen gegen die Kerntiefe unterhalb des Meeresbodens. Die roten horizontalen Linien stellen die Sektionswechsel bei der Messung dar.



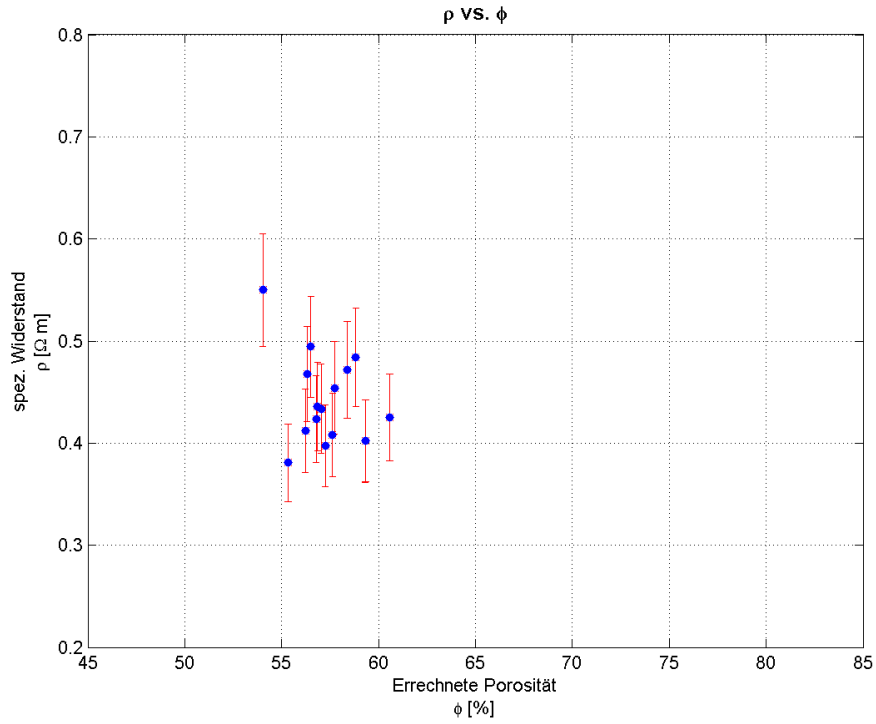
Anh. 32: Daten der Gamma-Dichte, der daraus errechneten Porosität, des spezifischen Widerstands und der Wärmeleitfähigkeit aufgetragen gegen die Kerntiefe unterhalb des Meeresbodens. Die horizontalen roten Linien zeigen wiederum die Sektionswechsel bei der Messung am MSCL, die roten Datenpunkte stellen die an Proben gemessene Porosität dar.



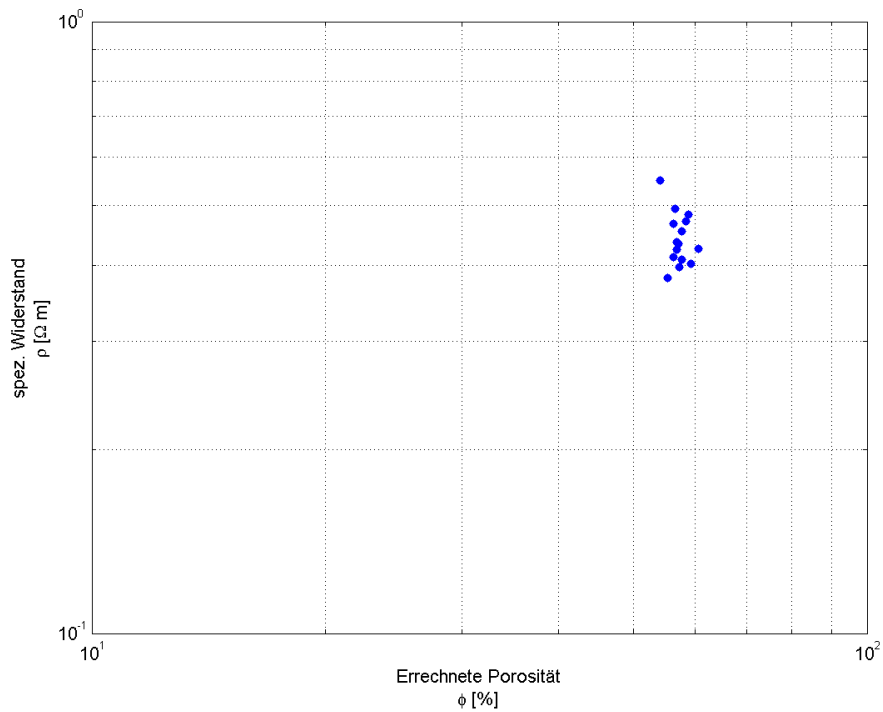
Anh. 33: Auf eine gemeinsame Tiefenskala mit einem Inkrement von 20cm interpolierte Werte der Gamma-Dichte, errechneter Porosität, des spezifischen Widerstands und der Wärmeleitfähigkeit. Die durch rote Punkte dargestellte gemessene Porosität wurde nicht interpoliert.



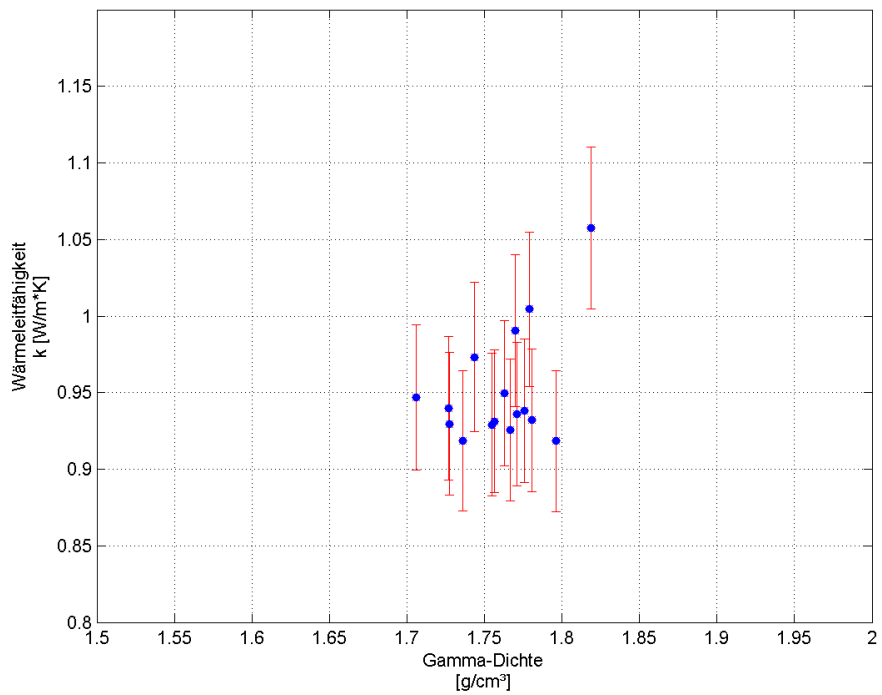
Anh. 34: Errechnete Porosität in Prozent aufgetragen gegen die gemessene Porosität. Wären beide Porositäten identisch müssten sie idealerweise auf der roten Linie liegen, die ein Verhältnis beider Porositäten von 1:1 angeben würde.



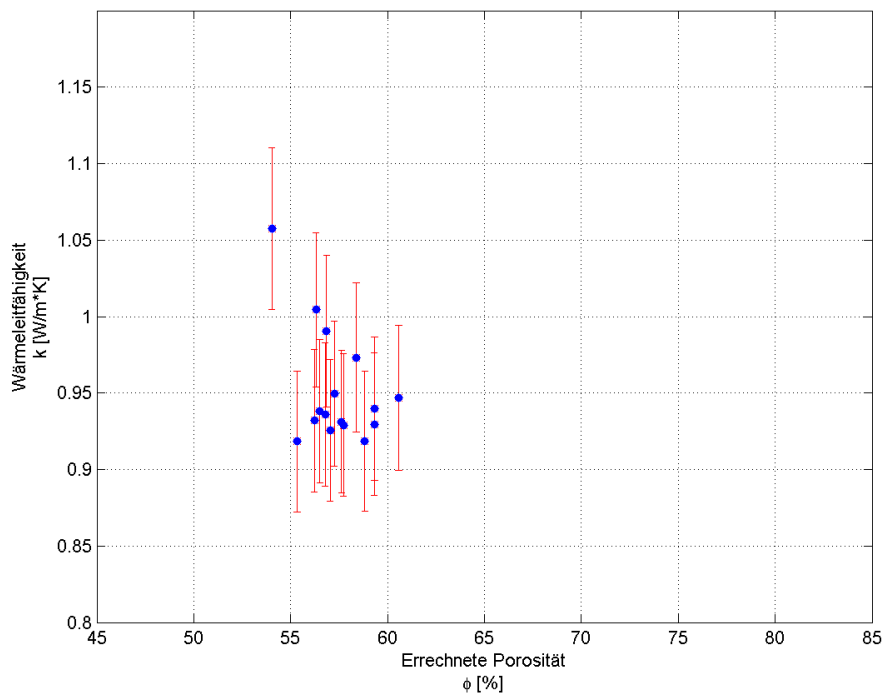
Anh. 35: Spezifischer Widerstand aufgetragen gegen errechnete Porosität. Die roten Fehlerbalken oben geben den Fehler des spezifischen Widerstands mit 10% an.



Anh. 36: Spezifischer Widerstand aufgetragen gegen errechnete Porosität in doppellogarithmischer Darstellung. Die roten Fehlerbalken oben geben den Fehler des spezifischen Widerstands mit 10% an.

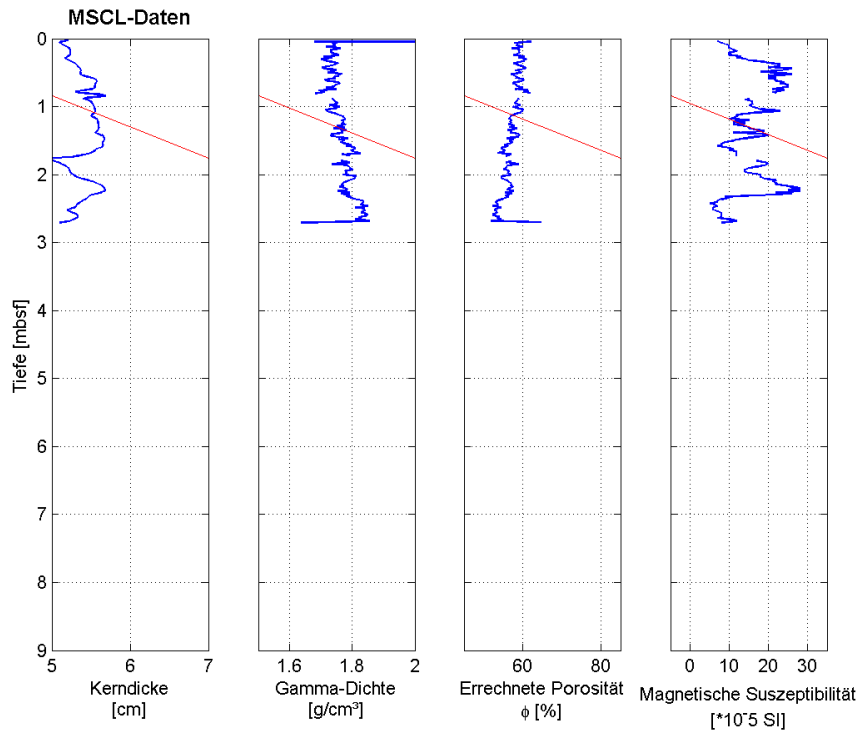


Anh. 37: Wärmeleitfähigkeit aufgetragen gegen Gamma-Dichte. Die roten Fehlerbalken geben den Fehler der Wärmeleitfähigkeit mit 5% an.

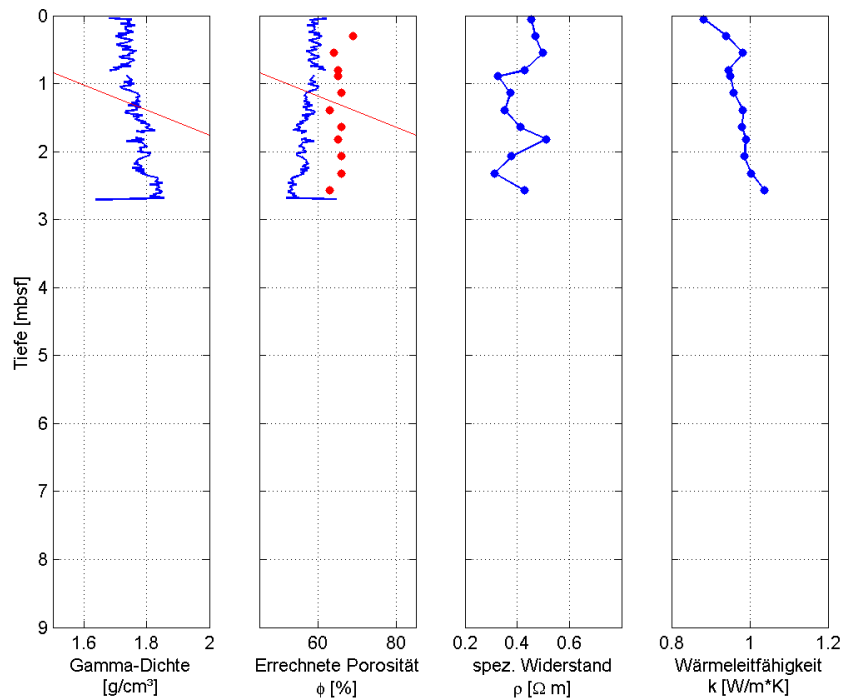


Anh. 38: Wärmeleitfähigkeit aufgetragen gegen die errechnete Porosität. Die roten Fehlerkreuze geben den Fehler der Wärmeleitfähigkeit mit 5% an.

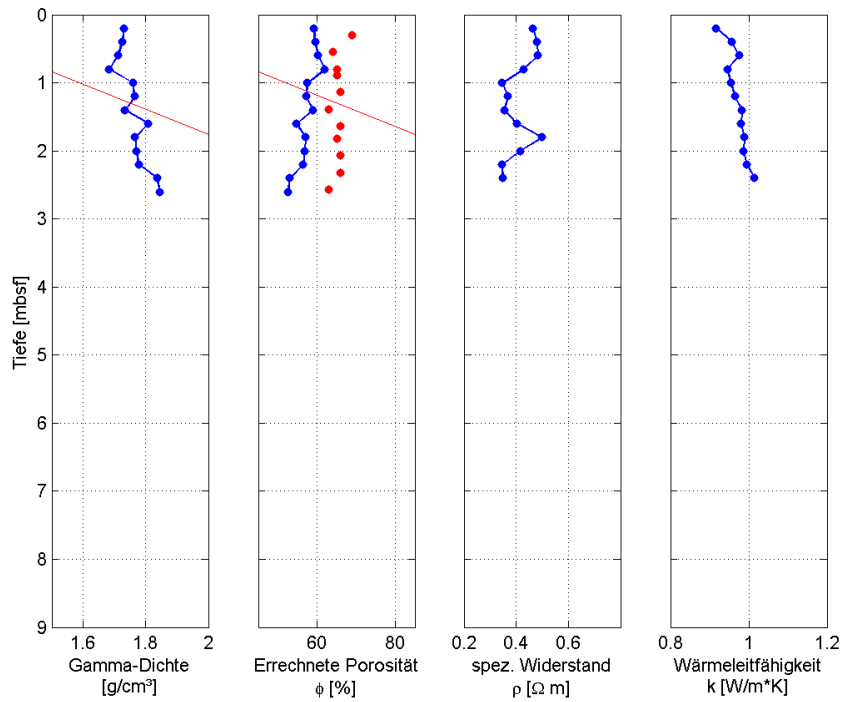
Messergebnisse des Sedimentkerns GeoB 13509-1



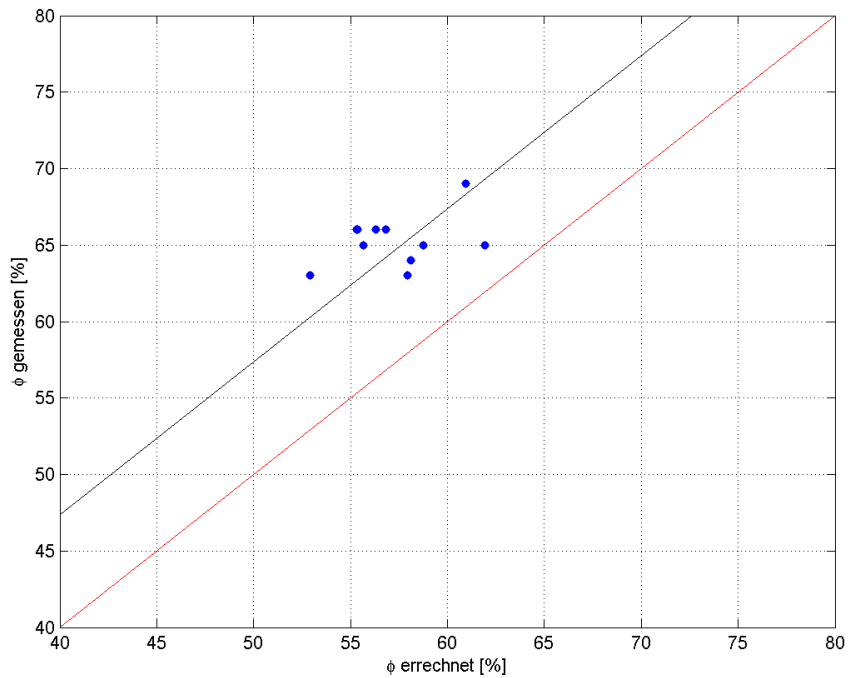
Anh. 39: Am MSCL gemessene Rohdaten der Kerndicke, Gamma-Dichte, der daraus errechneten Porosität und die magnetische Suszeptibilität aufgetragen gegen die Kerntiefe unterhalb des Meeresbodens. Die roten horizontalen Linien stellen die Sektionswechsel bei der Messung dar.



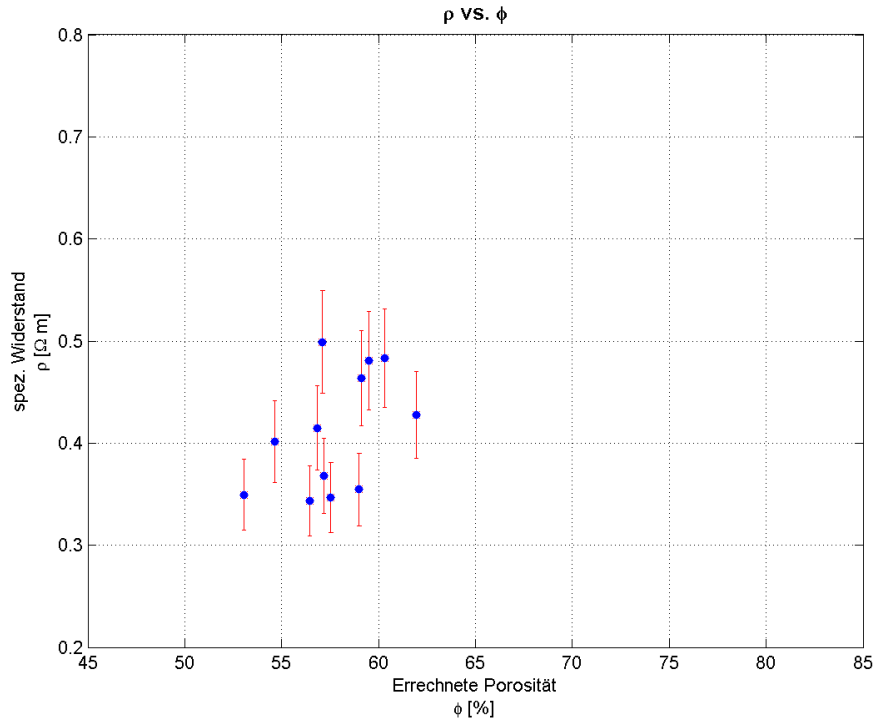
Anh. 40: Daten der Gamma-Dichte, der daraus errechneten Porosität, des spezifischen Widerstands und der Wärmeleitfähigkeit aufgetragen gegen die Kerntiefe unterhalb des Meeresbodens. Die horizontalen roten Linien zeigen wiederum die Sektionswechsel bei der Messung am MSCL, die roten Datenpunkte stellen die an Proben gemessene Porosität dar.



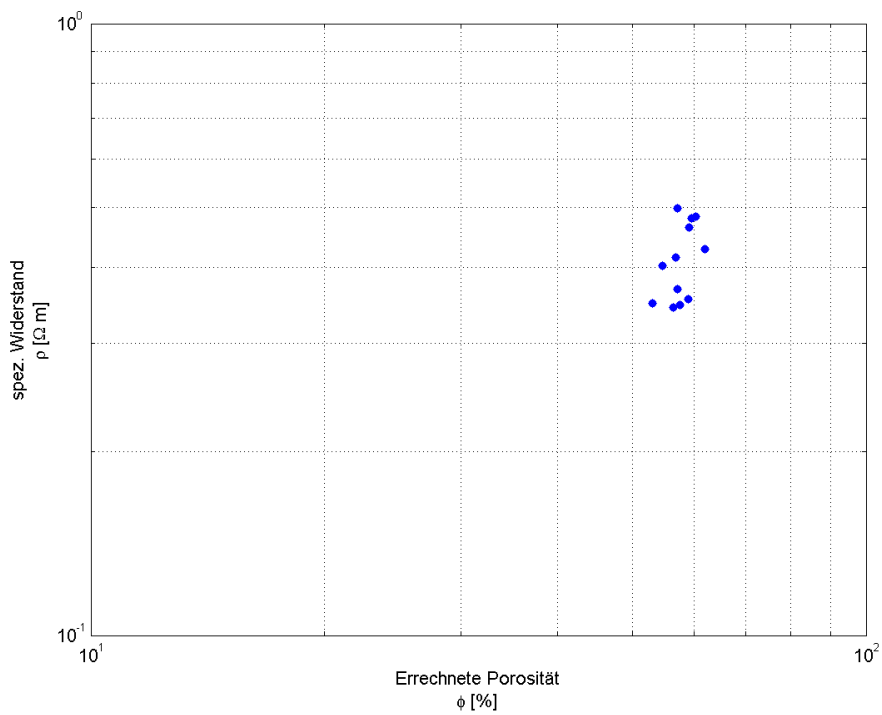
Anh. 41: Auf eine gemeinsame Tiefenskala mit einem Inkrement von 20cm interpolierte Werte der Gamma-Dichte, errechneter Porosität, des spezifischen Widerstands und der Wärmeleitfähigkeit. Die durch rote Punkte dargestellte gemessene Porosität wurde nicht interpoliert.



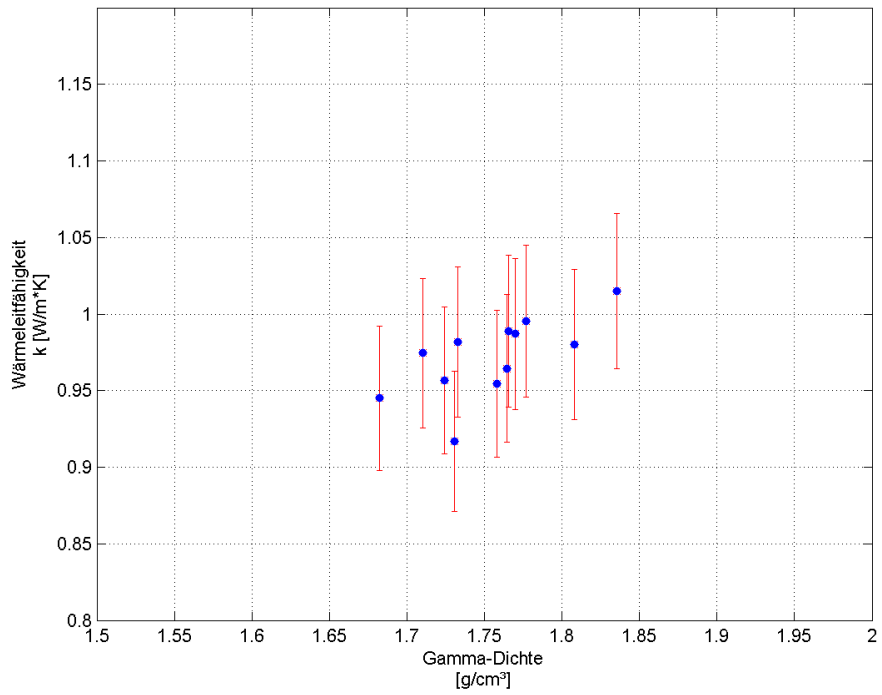
Anh. 42: Errechnete Porosität in Prozent aufgetragen gegen die gemessene Porosität. Wären beide Porositäten identisch müssten sie idealerweise auf der roten Linie liegen, die ein Verhältnis beider Porositäten von 1:1 angeben würde.



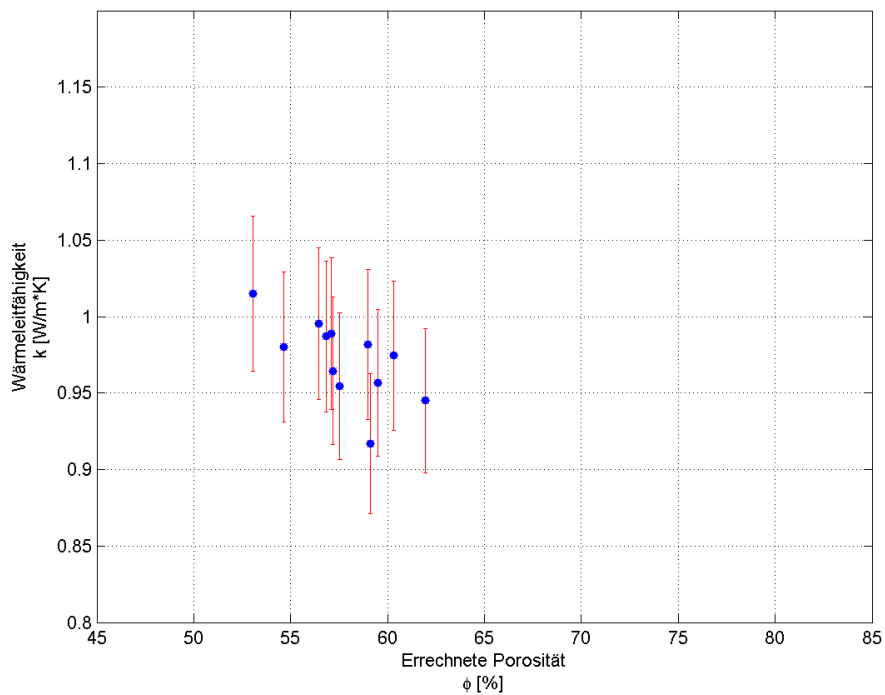
Anh. 43: Spezifischer Widerstand aufgetragen gegen errechnete Porosität. Die roten Fehlerbalken oben geben den Fehler des spezifischen Widerstands mit 10% an.



Anh. 44: Spezifischer Widerstand aufgetragen gegen errechnete Porosität in doppellogarithmischer Darstellung. Die roten Fehlerbalken oben geben den Fehler des spezifischen Widerstands mit 10% an.

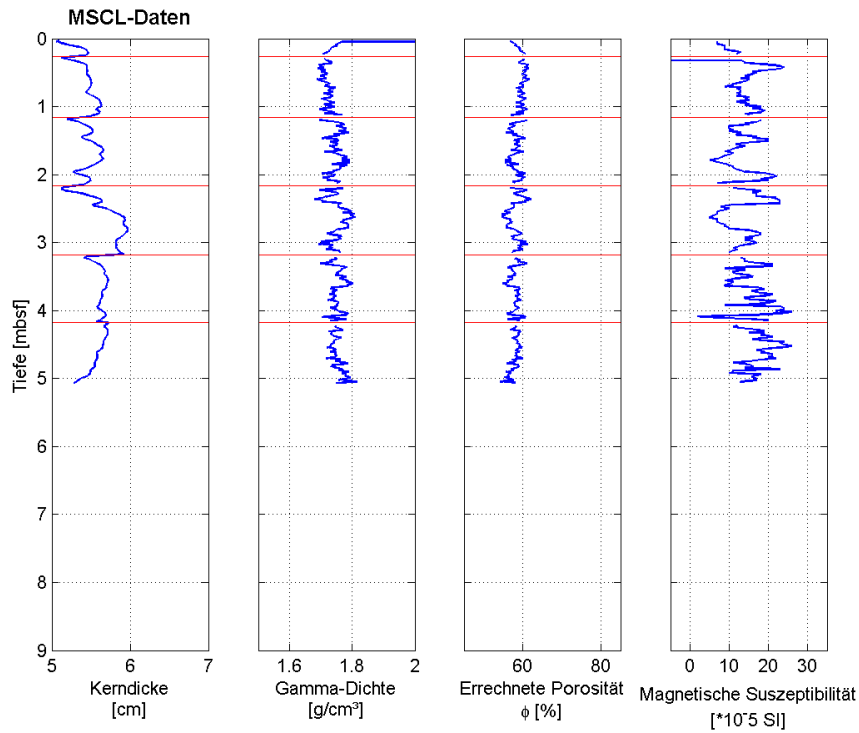


Anh. 45: Wärmeleitfähigkeit aufgetragen gegen Gamma-Dichte. Die roten Fehlerbalken geben den Fehler der Wärmeleitfähigkeit mit 5% an.

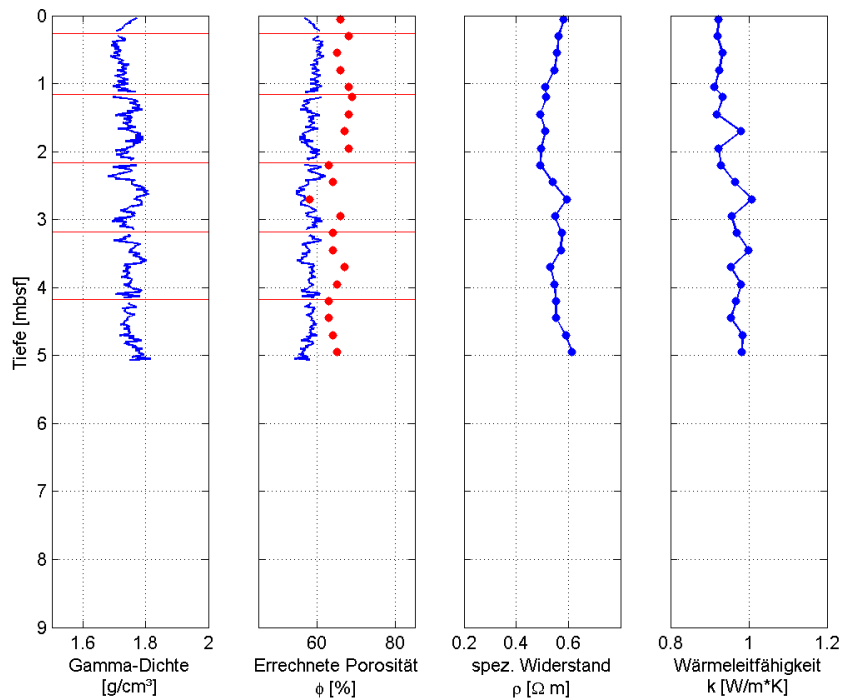


Anh. 46: Wärmeleitfähigkeit aufgetragen gegen die errechnete Porosität. Die roten Fehlerkreuze geben den Fehler der Wärmeleitfähigkeit mit 5% an.

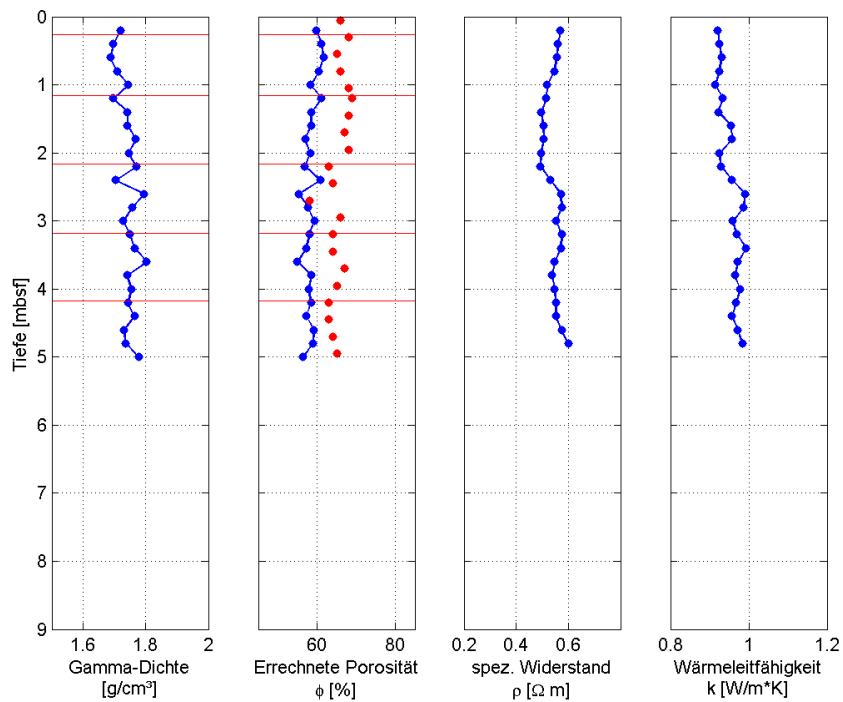
Messergebnisse des Sedimentkerns GeoB 13510-1



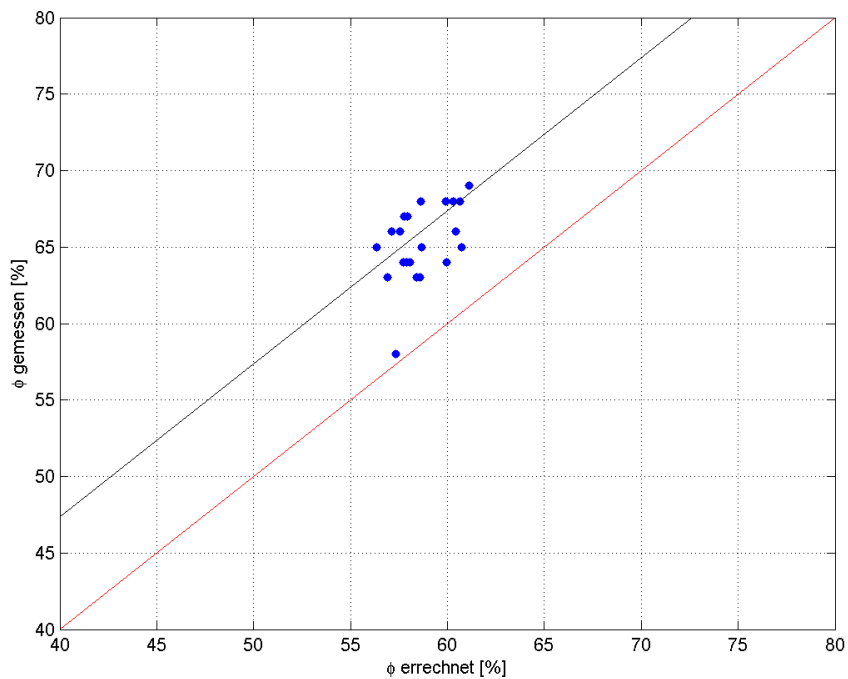
Anh. 47: Am MSCL gemessene Rohdaten der Kerndicke, Gamma-Dichte, der daraus errechneten Porosität und die magnetische Suszeptibilität aufgetragen gegen die Kerntiefe unterhalb des Meeresbodens. Die roten horizontalen Linien stellen die Sektionswechsel bei der Messung dar.



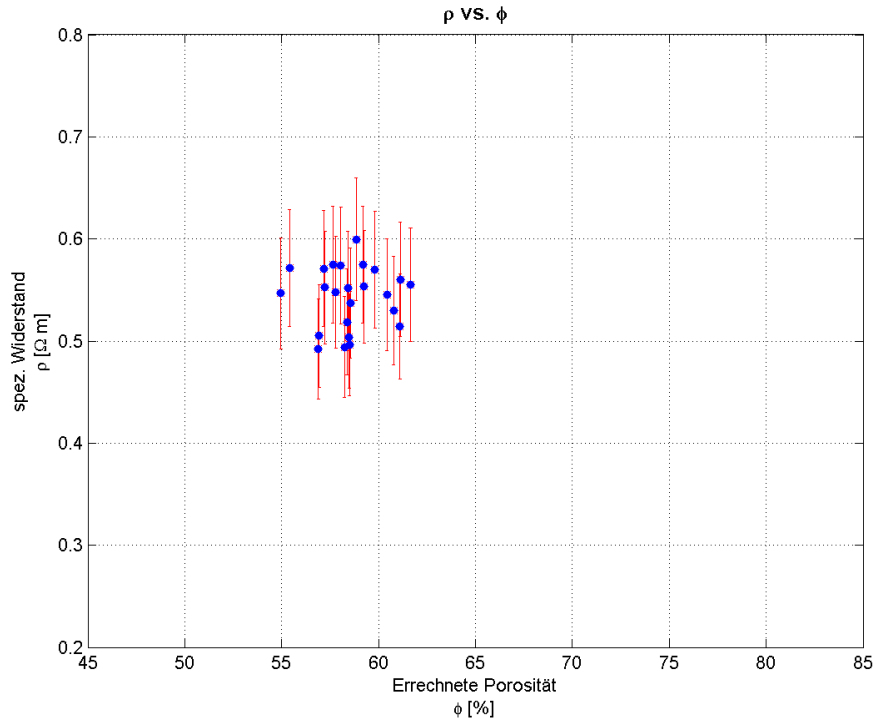
Anh. 48: Daten der Gamma-Dichte, der daraus errechneten Porosität, des spezifischen Widerstands und der Wärmeleitfähigkeit aufgetragen gegen die Kerntiefe unterhalb des Meeresbodens. Die horizontalen roten Linien zeigen wiederum die Sektionswechsel bei der Messung am MSCL, die roten Datenpunkte stellen die an Proben gemessene Porosität dar.



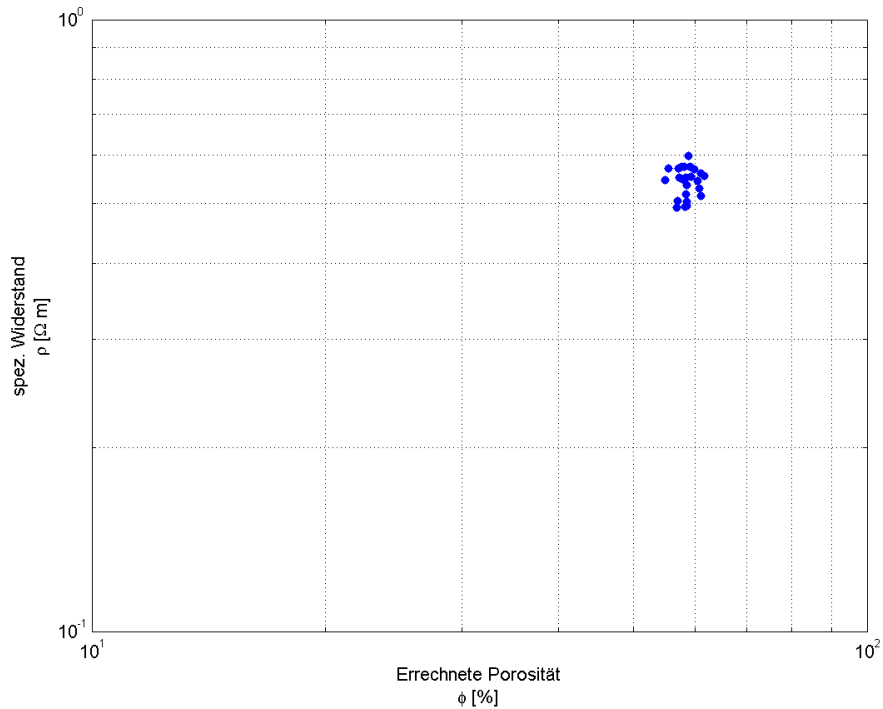
Anh. 49: Auf eine gemeinsame Tiefenskala mit einem Inkrement von 20cm interpolierte Werte der Gamma-Dichte, errechneter Porosität, des spezifischen Widerstands und der Wärmeleitfähigkeit. Die durch rote Punkte dargestellte gemessene Porosität wurde nicht interpoliert.



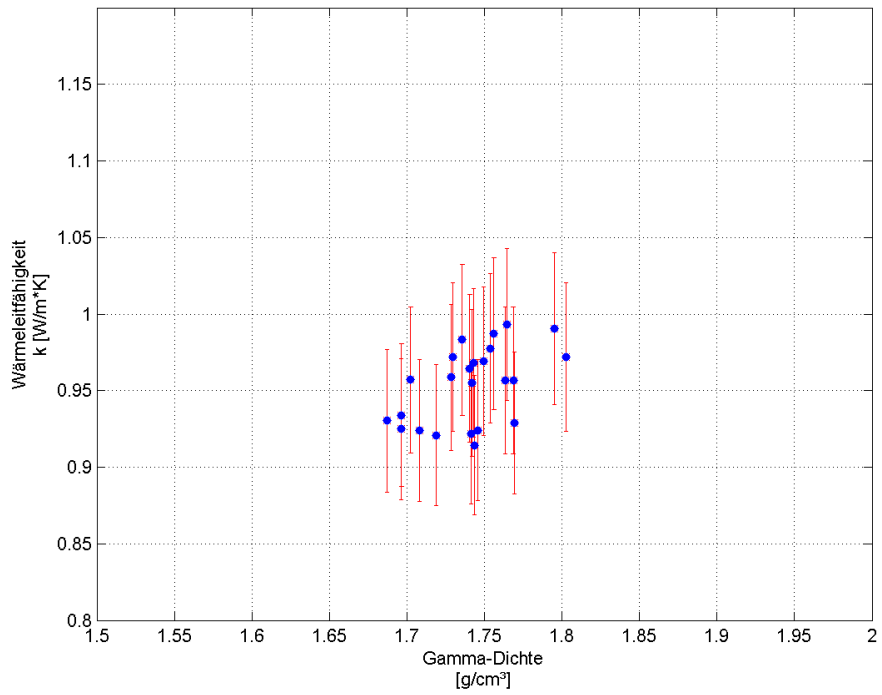
Anh. 50: Errechnete Porosität in Prozent aufgetragen gegen die gemessene Porosität. Wären beide Porositäten identisch müssten sie idealerweise auf der roten Linie liegen, die ein Verhältnis beider Porositäten von 1:1 angeben würde.



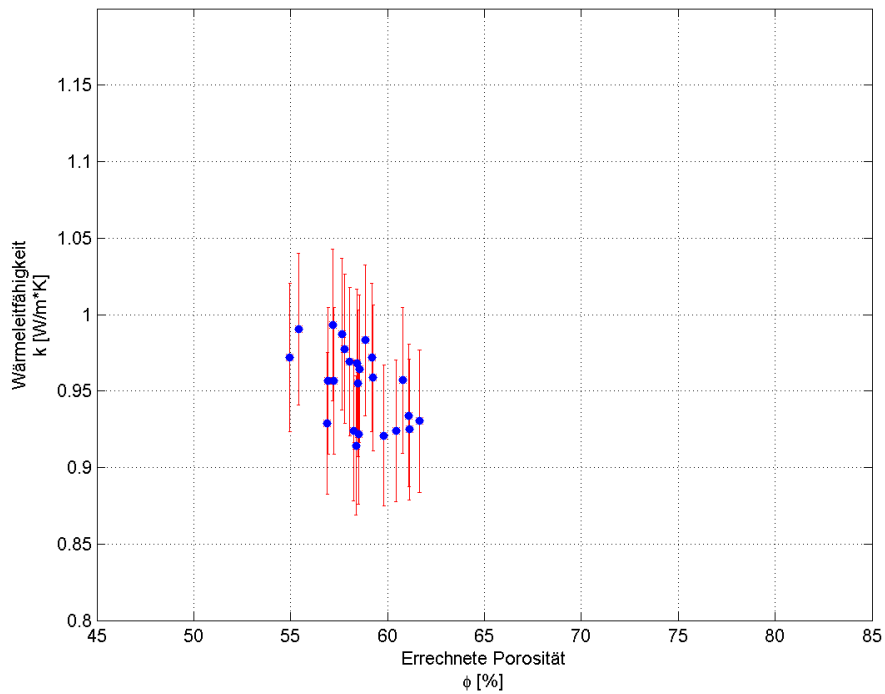
Anh. 51: Spezifischer Widerstand aufgetragen gegen errechnete Porosität. Die roten Fehlerbalken oben geben den Fehler des spezifischen Widerstands mit 10% an.



Anh. 52: Spezifischer Widerstand aufgetragen gegen errechnete Porosität in doppellogarithmischer Darstellung. Die roten Fehlerbalken oben geben den Fehler des spezifischen Widerstands mit 10% an.

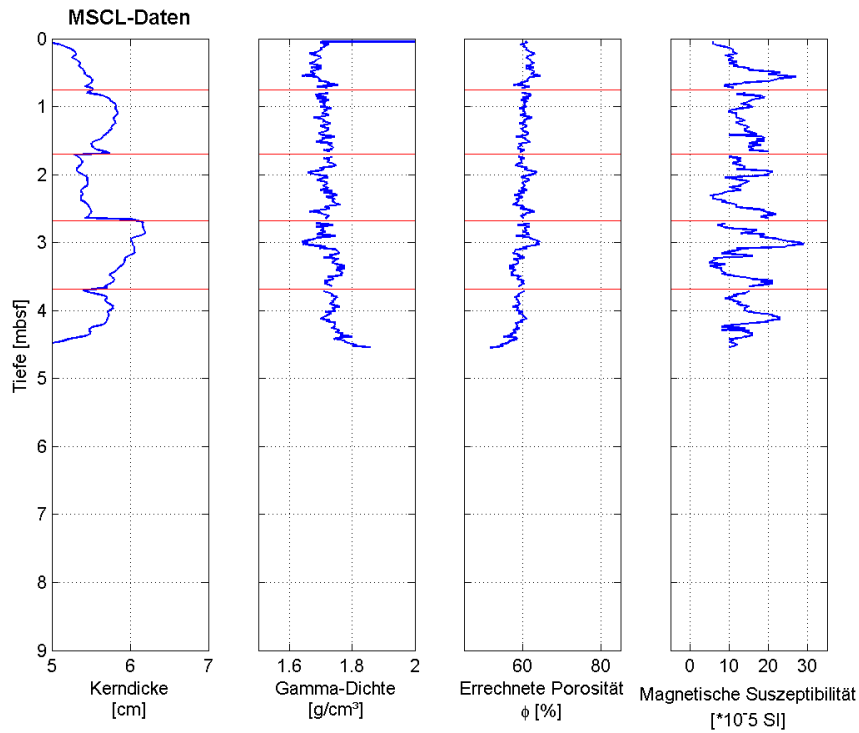


Anh. 53: Wärmeleitfähigkeit aufgetragen gegen Gamma-Dichte. Die roten Fehlerbalken geben den Fehler der Wärmeleitfähigkeit mit 5% an.

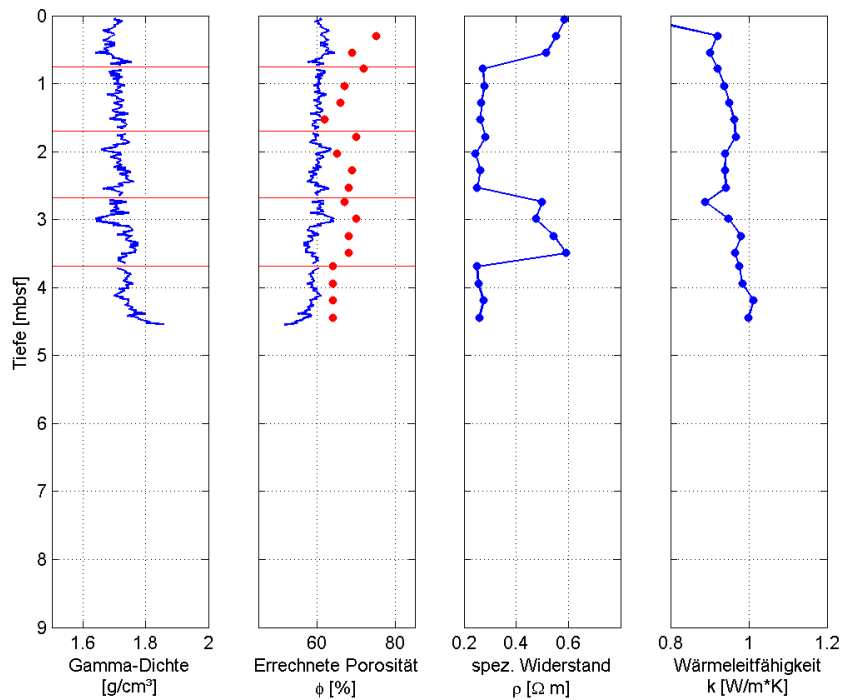


Anh. 54: Wärmeleitfähigkeit aufgetragen gegen die errechnete Porosität. Die roten Fehlerkreuze geben den Fehler der Wärmeleitfähigkeit mit 5% an.

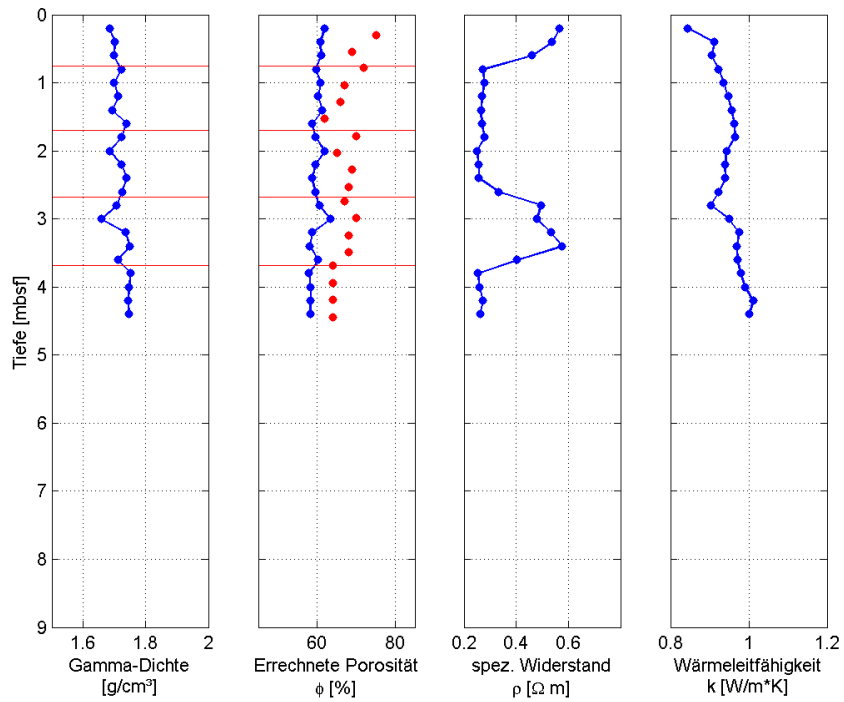
Messergebnisse des Sedimentkerns GeoB 13511-1



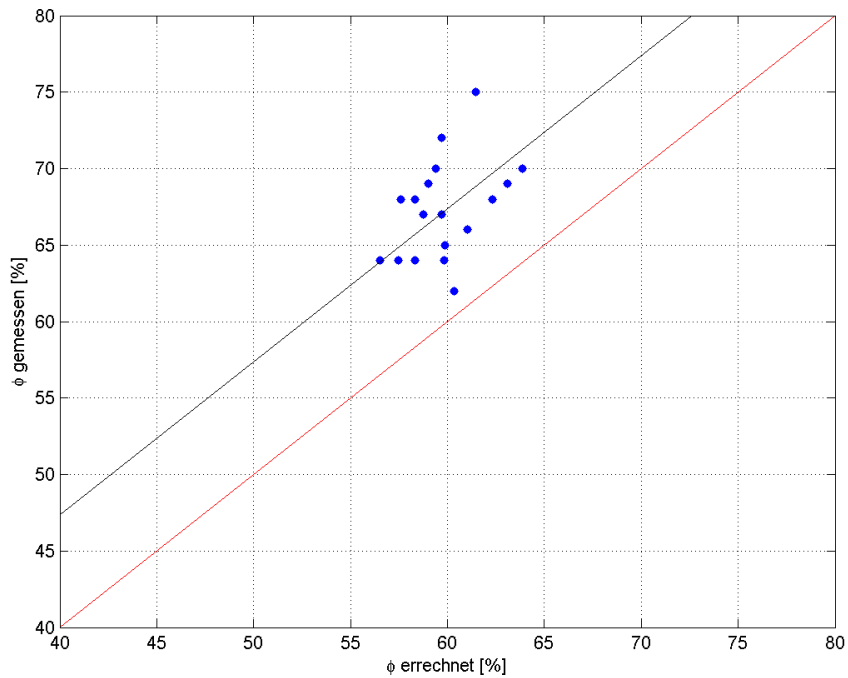
Anh. 55: Am MSCL gemessene Rohdaten der Kerndicke, Gamma-Dichte, der daraus errechneten Porosität und die magnetische Suszeptibilität aufgetragen gegen die Kerntiefe unterhalb des Meeresbodens. Die roten horizontalen Linien stellen die Sektionswechsel bei der Messung dar.



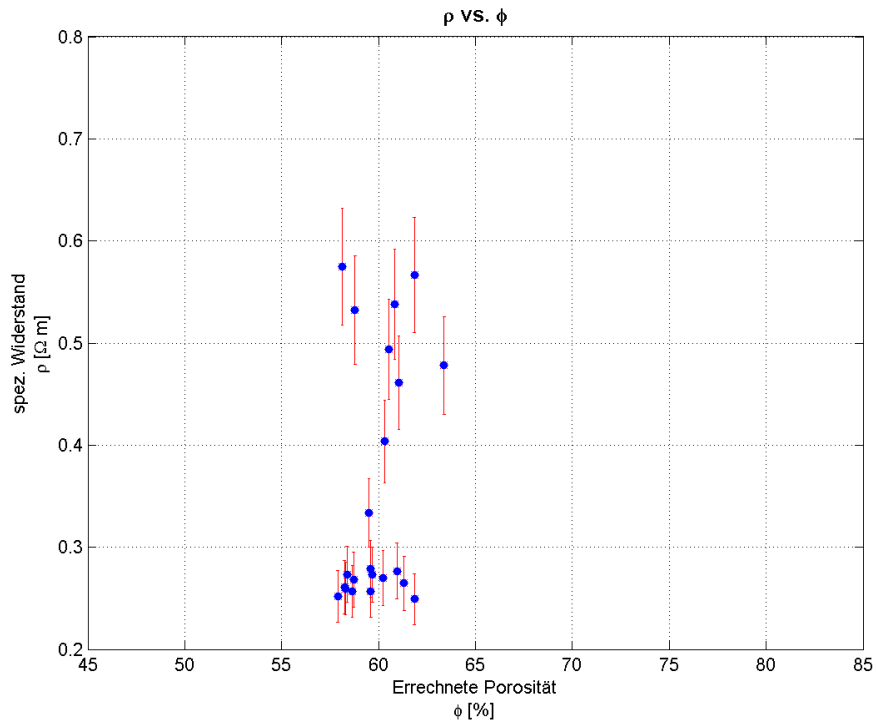
Anh. 56: Daten der Gamma-Dichte, der daraus errechneten Porosität, des spezifischen Widerstands und der Wärmeleitfähigkeit aufgetragen gegen die Kerntiefe unterhalb des Meeresbodens. Die horizontalen roten Linien zeigen wiederum die Sektionswechsel bei der Messung am MSCL, die roten Datenpunkte stellen die an Proben gemessene Porosität dar.



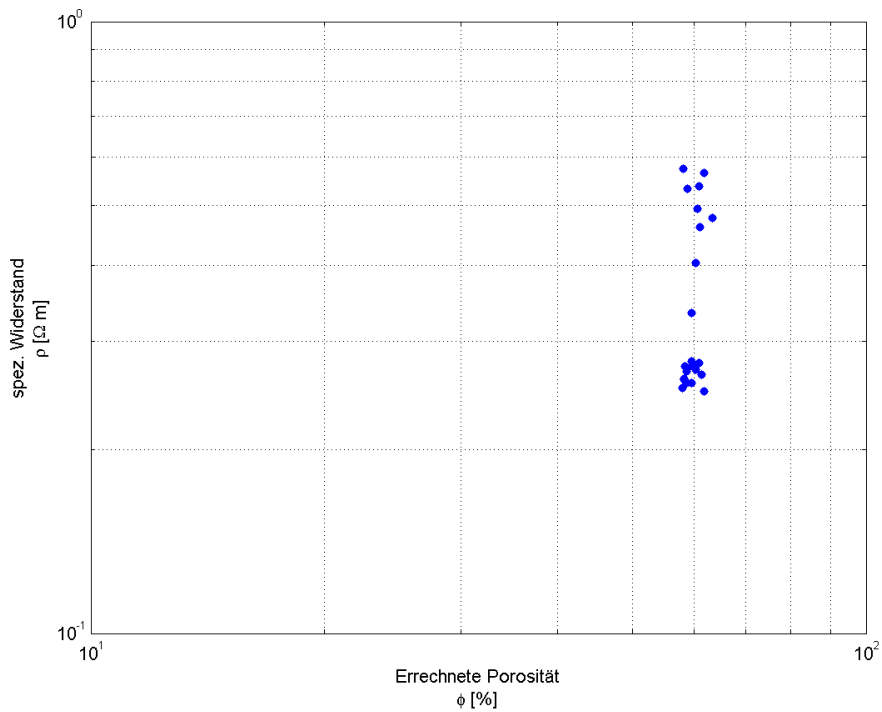
Anh. 57: Auf eine gemeinsame Tiefenskala mit einem Inkrement von 20cm interpolierte Werte der Gamma-Dichte, errechneter Porosität, des spezifischen Widerstands und der Wärmeleitfähigkeit. Die durch rote Punkte dargestellte gemessene Porosität wurde nicht interpoliert.



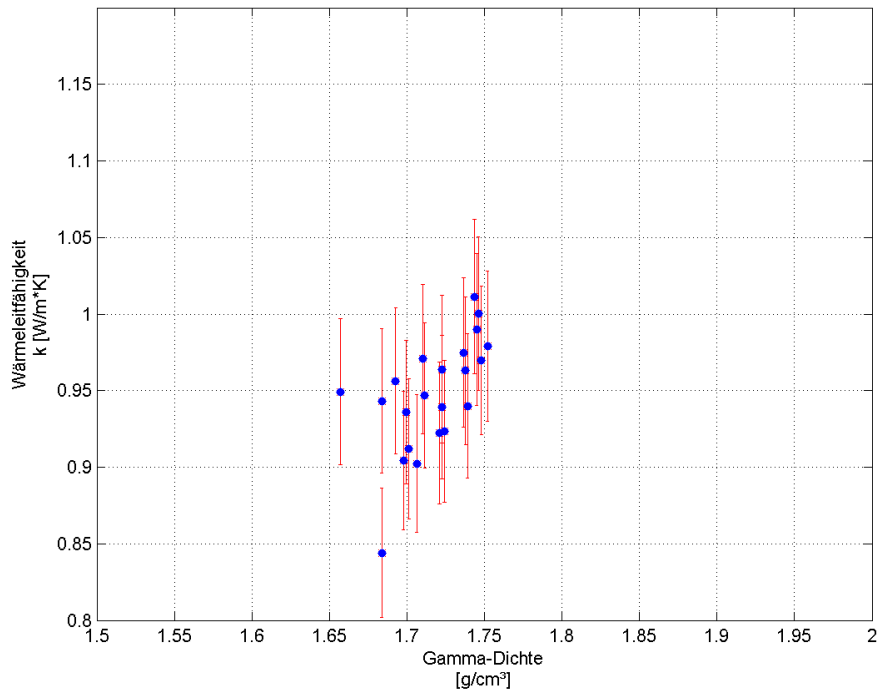
Anh. 58: Errechnete Porosität in Prozent aufgetragen gegen die gemessene Porosität. Wären beide Porositäten identisch müssten sie idealerweise auf der roten Linie liegen, die ein Verhältnis beider Porositäten von 1:1 angeben würde.



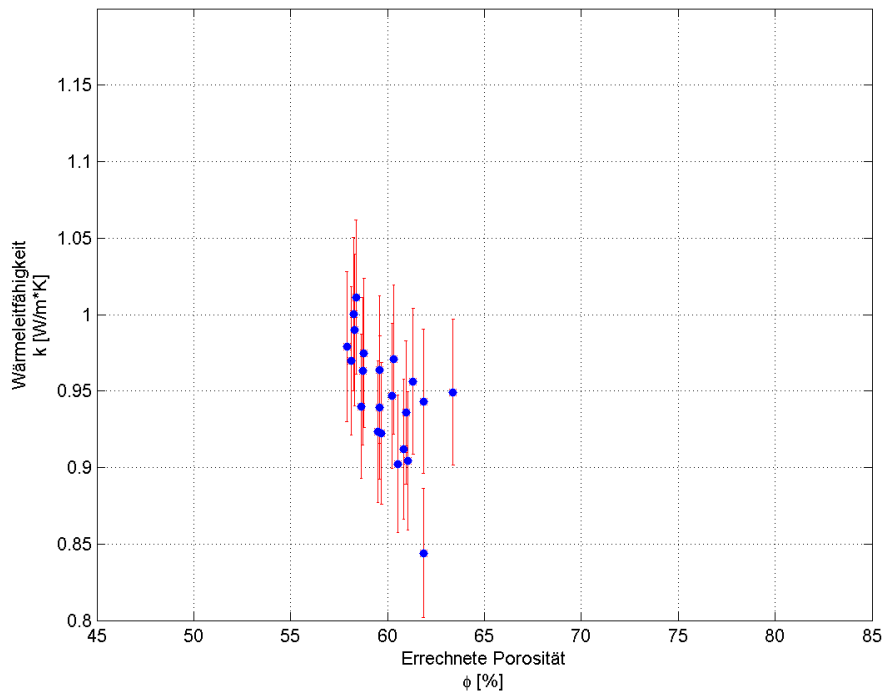
Anh. 59: Spezifischer Widerstand aufgetragen gegen errechnete Porosität. Die roten Fehlerbalken oben geben den Fehler des spezifischen Widerstands mit 10% an.



Anh. 60: Spezifischer Widerstand aufgetragen gegen errechnete Porosität in doppellogarithmischer Darstellung. Die roten Fehlerbalken oben geben den Fehler des spezifischen Widerstands mit 10% an.

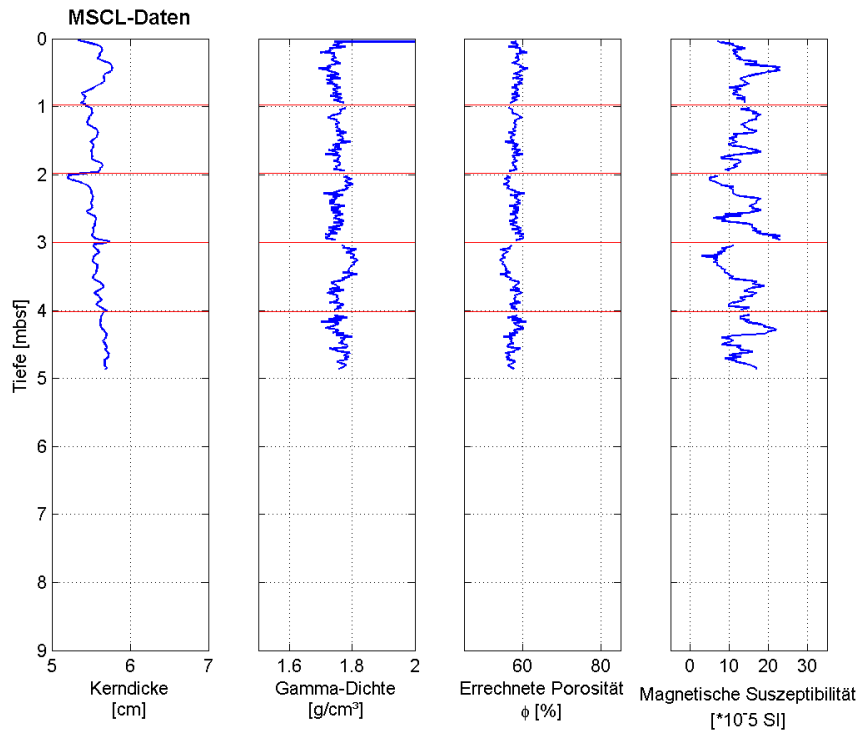


Anh. 61: Wärmeleitfähigkeit aufgetragen gegen Gamma-Dichte. Die roten Fehlerbalken geben den Fehler der Wärmeleitfähigkeit mit 5% an.

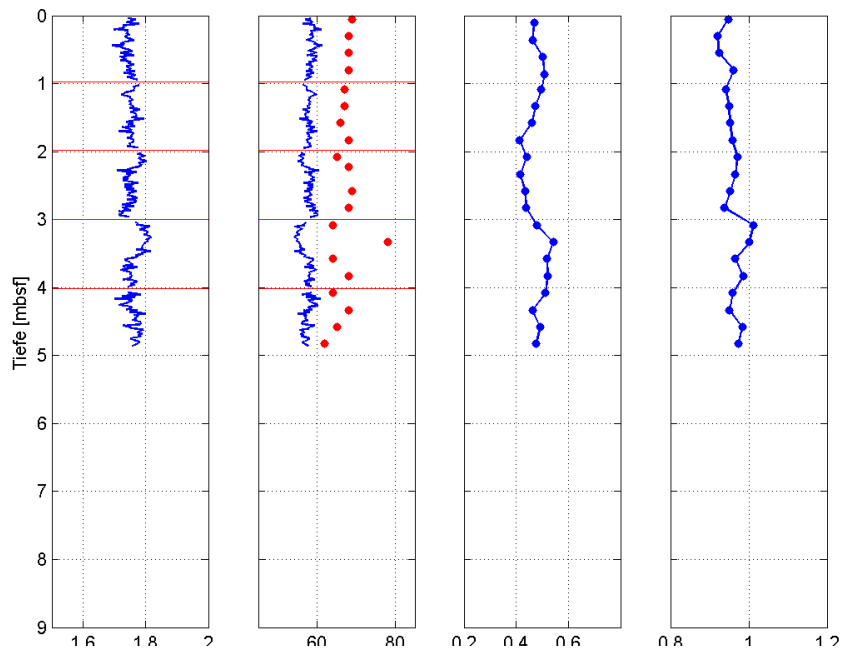


Anh. 62: Wärmeleitfähigkeit aufgetragen gegen die errechnete Porosität. Die roten Fehlerkreuze geben den Fehler der Wärmeleitfähigkeit mit 5% an.

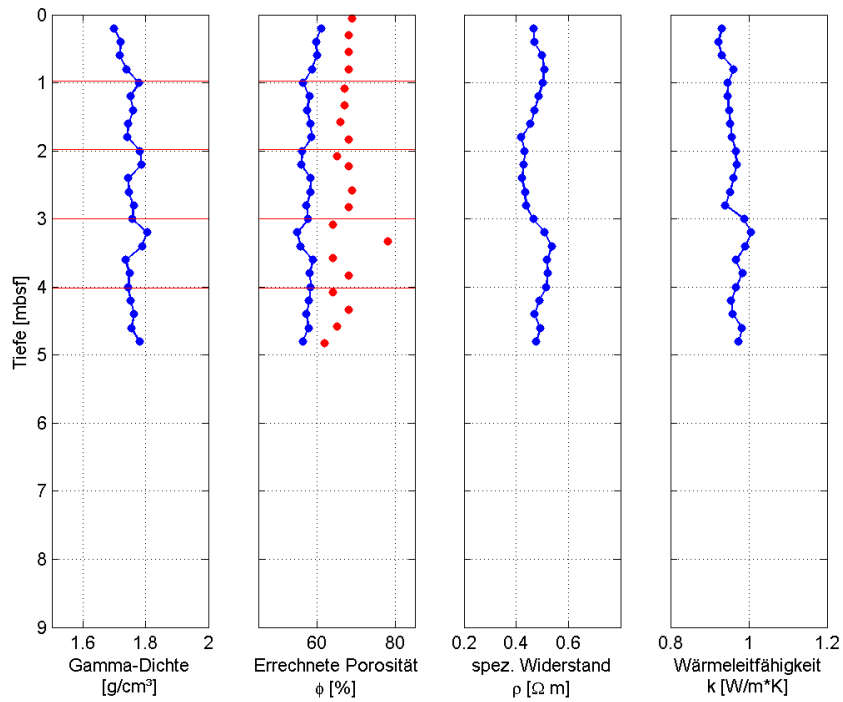
Messergebnisse des Sedimentkerns GeoB 13513-1



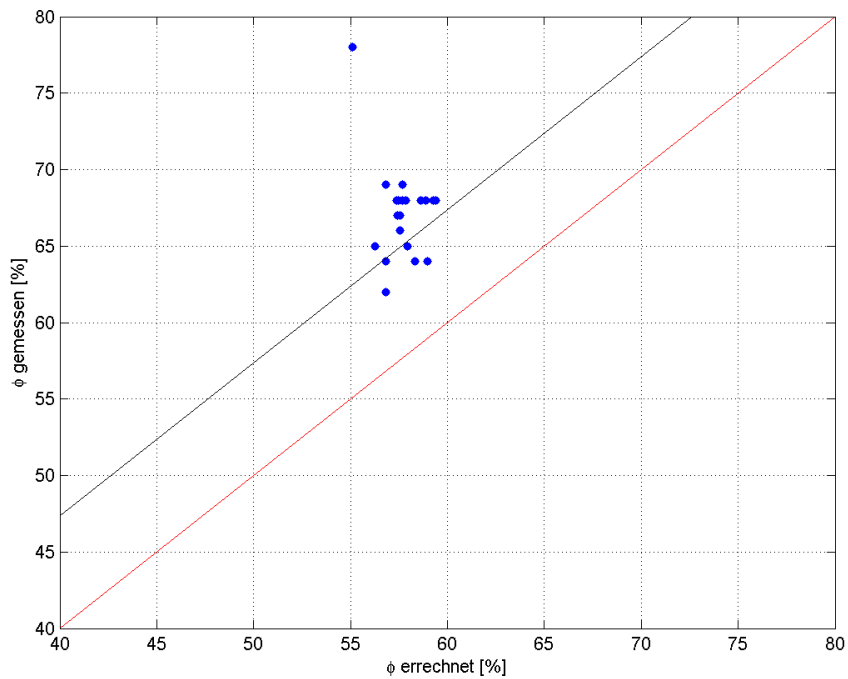
Anh. 63: Am MSCL gemessene Rohdaten der Kerndicke, Gamma-Dichte, der daraus errechneten Porosität und die magnetische Suszeptibilität aufgetragen gegen die Kerntiefe unterhalb des Meeresbodens. Die roten horizontalen Linien stellen die Sektionswechsel bei der Messung dar.



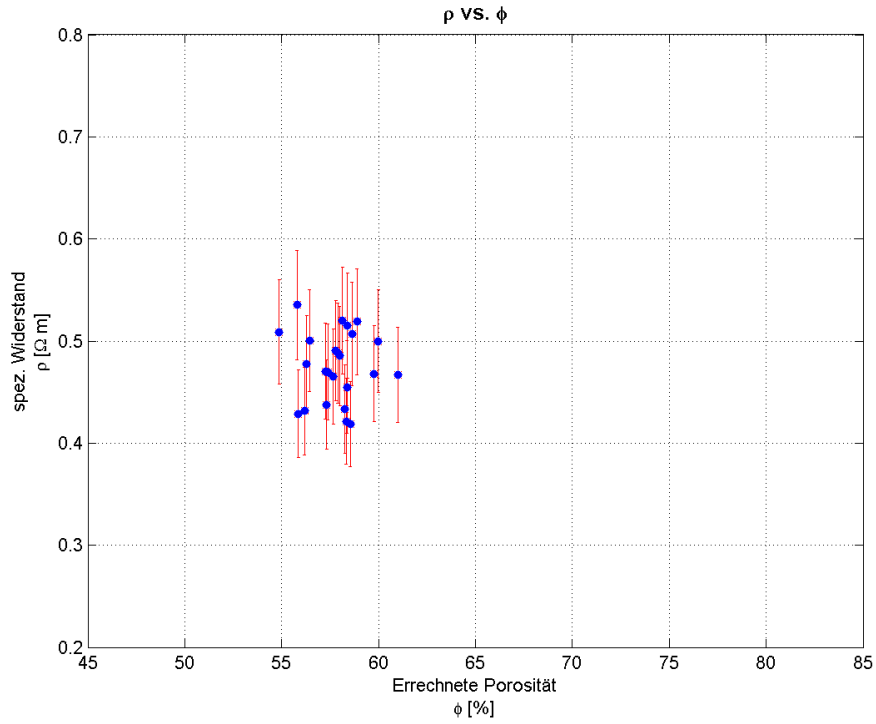
Anh. 64: Daten der Gamma-Dichte, der daraus errechneten Porosität, des spezifischen Widerstands und der Wärmeleitfähigkeit aufgetragen gegen die Kerntiefe unterhalb des Meeresbodens. Die horizontalen roten Linien zeigen wiederum die Sektionswechsel bei der Messung am MSCL, die roten Datenpunkte stellen die an Proben gemessene Porosität dar.



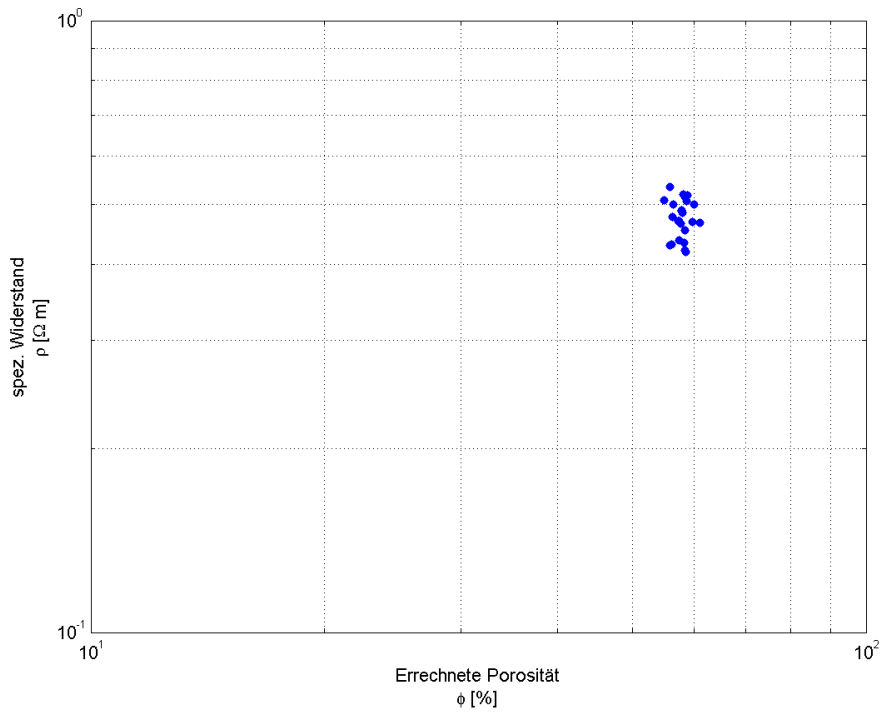
Anh. 65: Auf eine gemeinsame Tiefenskala mit einem Inkrement von 20cm interpolierte Werte der Gamma-Dichte, errechneter Porosität, des spezifischen Widerstands und der Wärmeleitfähigkeit. Die durch rote Punkte dargestellte gemessene Porosität wurde nicht interpoliert.



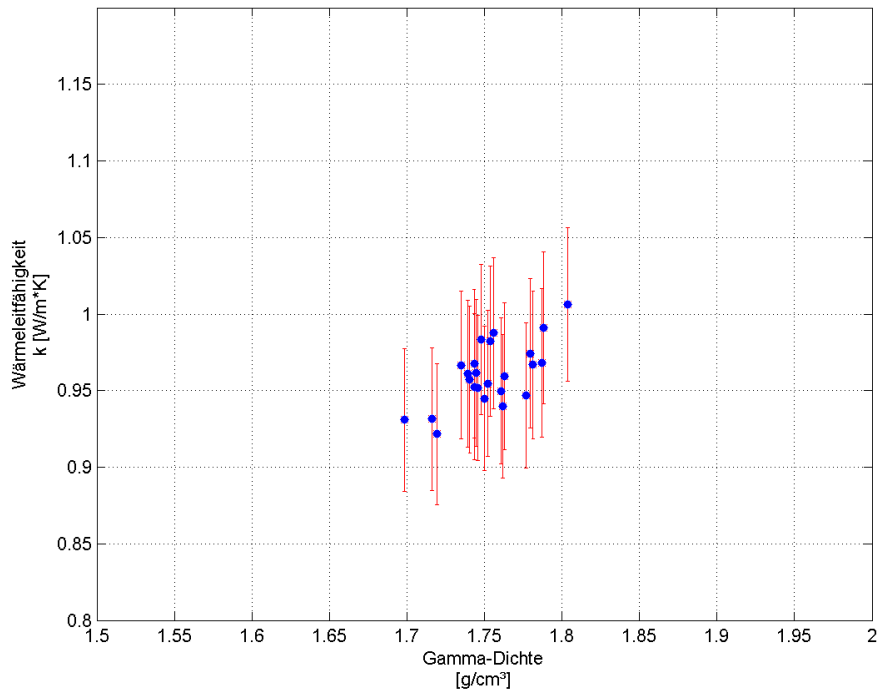
Anh. 66: Errechnete Porosität in Prozent aufgetragen gegen die gemessene Porosität. Wären beide Porositäten identisch müssten sie idealerweise auf der roten Linie liegen, die ein Verhältnis beider Porositäten von 1:1 angeben würde.



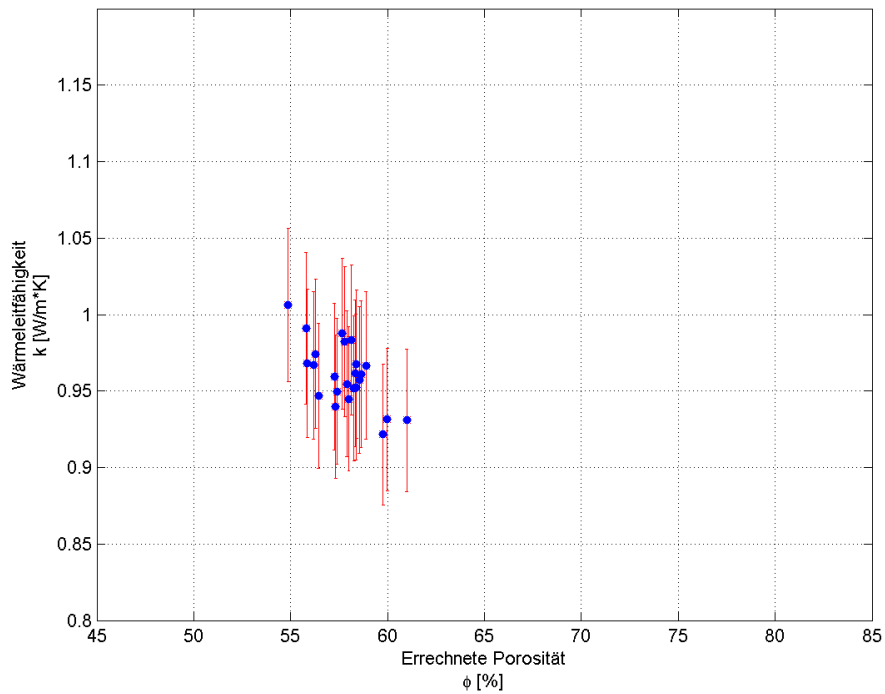
Anh. 67: Spezifischer Widerstand aufgetragen gegen errechnete Porosität. Die roten Fehlerbalken oben geben den Fehler des spezifischen Widerstands mit 10% an.



Anh. 68: Spezifischer Widerstand aufgetragen gegen errechnete Porosität in doppellogarithmischer Darstellung. Die roten Fehlerbalken oben geben den Fehler des spezifischen Widerstands mit 10% an.



Anh. 69: Wärmeleitfähigkeit aufgetragen gegen Gamma-Dichte. Die roten Fehlerbalken geben den Fehler der Wärmeleitfähigkeit mit 5% an.



Anh. 70: Wärmeleitfähigkeit aufgetragen gegen die errechnete Porosität. Die roten Fehlerkreuze geben den Fehler der Wärmeleitfähigkeit mit 5% an.

MATLAB-Routine 1: create.all

Dargestellt ist der Code des Matlab-Programms createall.m. Mit diesem wurden alle verwendeten Daten eingelesen, auf Plausibilität untersucht und interpoliert. Außerdem wurden hier die grafischen Darstellungen zur Auswertung der einzelnen Sedimentkerne erzeugt. Abschließend wurden die Daten aller Kerne für die weitere Bearbeitung in einem mat-File zusammengefasst.

```
% Routine zum Einlesen, Bearbeiten, Darstellen und Zusammenfassen aller
% Kerndaten ausgewählter Kern von North Pond

% Diese Routine geht der Durchführung der Routine alldata.m voraus

clear all
close all

% Kernendnummern
g=[1;2;3;6;7;8;9;10;11;13];

for u=1:length(g);

printswitch = 1;
%% Einlesen der Daten

% Einlesen der MSCL-Daten

kernnummer = (['135' num2str(g(u),'%02i') '-1']);
site = ['GeoB' kernnummer];

pfad = ['C:\Users\Dirk\Documents\Uni\Bachelorarbeit\Daten\Daten_MSCL\Dirk\'
site '\\' site];
%erzeugt fid-nummer für textscan
fid = fopen([pfad '_03_sus0.out'],'rt');
%schreibt daten in matrix data, %f für double, headerlinesanzahl
%eintragrn
data = textscan(fid,'%f %f %f %s %s %f %f %f %f','headerlines',14);
%schreibt die spalten in einzelne spaltenvektoren
z = data{1};
SecNum = data{2};
SecDepth = data{3};
Corethickness = data{6};
GamDens = data{7};
MagSus = data{8};
FracPor = data{9};
FracPor = FracPor*100;
clear data
fclose(fid)

% Section-Wechsel finden
ind = find(SecDepth < 2);
SecChange=z(ind);

% Entfernen von Datenpunkten um Section-Wechsel durch Gleichsetzen mit NaN
```



```

% GamDens
GamDens(ind)=NaN;
GamDens(ind-1)=NaN;
GamDens(ind+1)=NaN;
% FracPor
FracPor(ind)=NaN;
FracPor(ind+1)=NaN;
FracPor(ind-1)=NaN;
% MagSus
MagSus(ind)=NaN;
MagSus(ind-1)=NaN;
MagSus(ind+1)=NaN;

% Einlesen der spez. Widerstandsdaten und der Wärmeleitfähigkeitsdaten

% Einlesen der Tiefe der Widerstandsmessungen und der in-phase-Komponente
% der Potentialdifferenz
load
(['C:\Users\Dirk\Documents\Uni\Bachelorarbeit\MATLAB\electrical_resistivity
\' kernnummer] ) ;

n=length(Data);
for i=1:n
    zRho(i)=getfield(Data,{1,i},'samplePosition');
end
zRho=zRho';
zRho=zRho/100;

for i=1:n
    inPhaseVoltage(i)=getfield(Data,{1,i},'inPhaseVoltage');
end
inPhaseVoltage=inPhaseVoltage';
inPhaseVoltage=inPhaseVoltage/1000;

clear i
clear n
clear Data

% Berechnung des spezifischen Widerstands

% nach  $\rho_s = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot (U/I)$ ; mit I=15 mA (ausser bei Kern 13503-1, da ist
I=5
% mA) und a=0.01 m, U in mV
A=0.01;

if u==3;
    I=5E-3;
else
    I=15E-3;
end

rho=2*pi*A*(inPhaseVoltage/I);
rho=rho/0.6899;
clear A
clear I

if u==1 || u==2 || u==3 || u==4 || u==6 || u==7 || u==10
    rho=rho*1.79;
end

```

```

% Wärmeleitfähigkeit
% Einlesen der Daten mit zugehörigen Dichten
load
(['C:\Users\Dirk\Documents\Uni\Bachelorarbeit\MATLAB\thermal_conductivity\'
kernnummer]);
zThermCon=getfield(Data,'D');
zThermCon=zThermCon/100;
ThermCon=getfield(Data,'k');
clear Data

% Einlesen der gemessenen Porositäten
% für Kerne, an denen diese Messung durchgeführt wurde
if u==1 || u==2 || u==5 || u==6 || u==7 || u==8 || u==9 || u==10

fid =
fopen(['C:\Users\Dirk\Documents\Uni\Bachelorarbeit\Daten\MSM11_Porosity_su
mmmary_' site '.txt']), 'rt');
data = textscan(fid, '%f %s %s %s %s %s %s %f', 'headerlines', 6);
zSample=data{1};
zSample=zSample/100;
Porosity=data{8};
fclose(fid)
clear data

end

%% MSCL-Daten-Plot

% Plotten der MSCL-Daten

% Figure-Eigenschaften
figure (1)
set(gcf, 'color', 'white', 'name', site)

% Erster Plot
%figure title
subplot(1,4,1), plot(Corethickness,z, 'LineWidth',1, 'Color', 'blue')
xlabel=5;
ylabel=7;
hold on
% Section-Wechsel plotten
plot([xlabel ylabel],[SecChange SecChange], 'Color', 'red')
hold off
% Achseneigenschaften
axis([xlabel ylabel 0 9])
set(gca, 'axislocation', 'bottom', 'ydir', 'reverse', 'FontSize', 11)
labelCorethickness{1}='Kerndicke';
labelCorethickness{2}=' [cm]';
labelCorethickness=labelCorethickness';
xlabel(labelCorethickness, 'FontSize', 10)
ylabel('Tiefe [mbsf]', 'FontSize', 10)
grid
title('MSCL-Daten', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')

% Zweiter Plot
subplot(1,4,2), plot(GamDens,z, 'LineWidth',1, 'Color', 'blue')

```

```

x2min=1.5;
x2max=2.0;
hold on
plot([x2min x2max],[SecChange SecChange],'Color','red')
hold off
axis([x2min x2max 0 9])
set(gca,'axislocation','bottom','ydir','reverse','yTickLabel',{},'FontSize',11)
labelGamDens{1}='Gamma-Dichte';
labelGamDens{2}='[g/cm³]';
labelGamDens=labelGamDens';
xlabel(labelGamDens, 'FontSize',10)
grid

% Dritter Plot
subplot(1,4,3), plot(FracPor,z,'LineWidth',1,'Color','blue')
x3min=45;
x3max=85;
hold on
plot([x3min x3max],[SecChange SecChange],'Color','red')
hold off
axis([x3min x3max 0 9])
set(gca,'axislocation','bottom','ydir','reverse','yTickLabel',{},'FontSize',11)
labelFracPor{1}='Errechnete Porosität';
labelFracPor{2}='\phi [%]';
labelFracPor=labelFracPor';
xlabel(labelFracPor, 'FontSize',10)
grid

% Vierter Plot
subplot(1,4,4), plot(MagSus,z,'LineWidth',1,'Color','blue')
x4min=-5;
x4max=35;
hold on
plot([x4min x4max],[SecChange SecChange],'Color','red')
hold off
axis([x4min x4max 0 9])
set(gca,'axislocation','bottom','ydir','reverse','yTickLabel',{},'FontSize',11)
labelMagSus{1}='Magnetische Suszeptibilität';
labelMagSus{2}='[*10^-5 SI]';
labelMagSus=labelMagSus';
xlabel(labelMagSus, 'FontSize',10)
grid

%% Plotten der Wärmeleitfähigkeit und spez. Widerstand
figure(2)
set(gcf,'color','white','name', site)

% Erster Plot
figure(2)
subplot(1,2,1)
plot(rho,zRho,'LineWidth',1,'Color','blue')

x5min=0.2;
x5max=0.8;

axis([x5min x5max 0 9])
set(gca,'axislocation','bottom','ydir','reverse','FontSize',11)
labelRho{1}='spez. Widerstand';

```

```

labelRho{2}='\rho [\Omega m]';
labelRho=labelRho';
xlabel(labelRho, 'FontSize',10)
ylabel('Tiefe [mbsf]', 'FontSize',10)
grid
title('Wärmeleitfähigkeit und spezifischer Wider-
stand', 'FontSize',12, 'FontWeight', 'bold')

% Zweiter Plot
subplot(1,2,2)
plot(ThermCon, zThermCon, 'LineWidth',1, 'Color', 'blue')
x6min=0.8;
x6max=1.2;
axis([x6min x6max 0 9])
set(gca, 'axislocation', 'bottom', 'ydir', 'reverse', 'yTickLabel', {}, 'FontSize',11)
labelThermCon{1}='Wärmeleitfähigkeit';
labelThermCon{2}='k [W/m*K]';
labelThermCon=labelThermCon';
xlabel(labelThermCon, 'FontSize',10)
grid

%% Plausibilitätsprüfung
% Eliminieren unrealistischer Werte

% Errechnete Porosität
k=find(FracPor < 0);
FracPor(k)=NaN;
k=find(FracPor >80);
FracPor(k)=NaN;
clear k

% Gemessene Porosität
if u==1 || u==2 || u==5 || u==6 || u==7 || u==8 || u==9 || u==10
k=find(Porosity < 0);
Porosity(k)=NaN;
k=find(FracPor >80);
Porosity(k)=NaN;
clear k
end

% Gamma-Dichte
k=find(GamDens < 1.5);
GamDens(k)=NaN;
k=find(GamDens > 2);
GamDens(k)=NaN;
clear k

% Spezifischer Widerstand
k=find( rho > 0.0 & rho<1);
rho = rho(k);
zRho = zRho(k);

% Wärmeleitfähigkeit
k=find( ThermCon > 0.6 & ThermCon < 2.0);
ThermCon=ThermCon(k);
zThermCon=zThermCon(k);

%% Ermitteln des gemeinsamen Tiefenintervalls

```

```

% Für GamDens und FracPor gleich, für Wärmeleitfähigkeit und spezifischen
% Widerstand ebenfalls gleich

zMin=0;
zMax= max(z);

k=find(z >= zMin & z <= zMax);
z=z(k);
GamDens=GamDens(k);
k=find(z >= zMin & z <= zMax);
z=z(k);
FracPor=FracPor(k);
k=find(zRho >= zMin & zRho <= zMax);
zRho=zRho(k);
rho=rho(k);
k=find(zThermCon >= zMin & zThermCon <= zMax);
zThermCon=zThermCon(k);
ThermCon=ThermCon(k);
clear k

%% Plotten nach Plausibilitätsprüfung und mit gleichem Tiefenintervall

figure(3)
set(gcf, 'color', 'white', 'name', site)

figure(3)
subplot(1,4,1)
plot(GamDens, z, 'LineWidth', 1, 'Color', 'blue')
hold on
plot([x2min x2max], [SecChange SecChange], 'Color', 'red')
hold off
axis([x2min x2max 0 9])
set(gca, 'axislocation', 'bottom', 'ydir', 'reverse', 'FontSize', 11)
grid
xlabel(labelGamDens, 'FontSize', 10)
ylabel('Tiefe [mbsf]', 'FontSize', 10)
title(site, 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')

figure(3)
subplot(1,4,2)
plot(FracPor, z, 'LineWidth', 1, 'Color', 'blue')
hold on
if u==1 || u==2 || u==5 || u==6 || u==7 || u==8 || u==9 || u==10
plot(Porosity, zSample, '.red', 'MarkerSize', 15)
end
hold on
plot([x3min x3max], [SecChange SecChange], 'Color', 'red')
hold off
axis([x3min x3max 0 9])
set(gca, 'axislocation', 'bottom', 'ydir', 'reverse', 'yTickLabel', {}, 'FontSize', 11)
grid
xlabel(labelFracPor, 'FontSize', 10)

figure(3)
subplot(1,4,3)
plot(rho, zRho, 'LineWidth', 1, 'Color', 'blue')
hold on
plot(rho, zRho, '.blue', 'MarkerSize', 15)
hold off
axis([x5min x5max 0 9])

```

```

set(gca, 'axislocation', 'bottom', 'ydir', 'reverse', 'yTickLabel', {}, 'FontSize', 11)
grid
xlabel(labelRho, 'FontSize', 10)

figure(3)
subplot(1, 4, 4)
plot(ThermCon, zThermCon, 'LineWidth', 1, 'Color', 'blue')
hold on
plot(ThermCon, zThermCon, '.blue', 'MarkerSize', 15)
hold off
axis([x6min x6max 0 9])
set(gca, 'axislocation', 'bottom', 'ydir', 'reverse', 'yTickLabel', {}, 'FontSize', 11)
grid
xlabel(labelThermCon, 'FontSize', 10)

%% Interpolation
nnan= find( ~isnan(FracPor) & ~isnan(GamDens));
zInt=zMin:0.2:zMax;
FracPorInt=interp1(z(nnan), FracPor(nnan), zInt);
rhoInt=interp1(zRho, rho, zInt);
ThermConInt=interp1(zThermCon, ThermCon, zInt);
GamDensInt=interp1(z(nnan), GamDens(nnan), zInt);
clear nnan

% Berechnung der Fehler
errorRho=rhoInt*0.1;
errorThermCon=ThermConInt*0.05;

figure(4)
set(gcf, 'color', 'white', 'name', site)

figure(4)
subplot(1, 4, 1)
plot(GamDensInt, zInt, 'LineWidth', 1, 'Color', 'blue')
hold on
plot(GamDensInt, zInt, '.blue', 'MarkerSize', 15)
hold on
plot([x2min x2max], [SecChange SecChange], 'Color', 'red')
hold off
axis([x2min x2max 0 9])
set(gca, 'axislocation', 'bottom', 'ydir', 'reverse', 'FontSize', 11)
grid
xlabel(labelGamDens, 'FontSize', 10)
ylabel('Tiefe [mbsf]', 'FontSize', 10)
title('Interpoliert', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')

figure(4)
subplot(1, 4, 2)
plot(FracPorInt, zInt, 'LineWidth', 1, 'Color', 'blue')
hold on
plot(FracPorInt, zInt, '.blue', 'MarkerSize', 15)
hold on
if u==1 || u==2 || u==5 || u==6 || u==7 || u==8 || u==9 || u==10
plot(Porosity, zSample, '.red', 'MarkerSize', 15)
end
hold on
plot([x3min x3max], [SecChange SecChange], 'Color', 'red')
hold off
axis([x3min x3max 0 9])

```

```

set(gca, 'axislocation', 'bottom', 'ydir', 'reverse', 'yTickLabel', {}, 'FontSize', 11)
grid
xlabel(labelFracPor, 'FontSize', 10)

figure(4)
subplot(1, 4, 3)
plot(rhoInt, zInt, 'LineWidth', 1, 'Color', 'blue')
hold on
plot(rhoInt, zInt, '.blue', 'MarkerSize', 15)
hold off
axis([x5min x5max 0 9])
set(gca, 'axislocation', 'bottom', 'ydir', 'reverse', 'yTickLabel', {}, 'FontSize', 11)
grid
xlabel(labelRho, 'FontSize', 10)

figure(4)
subplot(1, 4, 4)
plot(ThermConInt, zInt, 'LineWidth', 1, 'Color', 'blue')
hold on
plot(ThermConInt, zInt, '.blue', 'MarkerSize', 15)
hold off
axis([x6min x6max 0 9])
set(gca, 'axislocation', 'bottom', 'ydir', 'reverse', 'yTickLabel', {}, 'FontSize', 11)
grid
xlabel(labelThermCon, 'FontSize', 10)

%% Überprüfen der errechneten und gemessenen Porositäten

if u==1 || u==2 || u==5 || u==6 || u==7 || u==8 || u==9 || u==10

% Interpolation zum Plotten
nnan= find( ~isnan(FracPor));
zPorInt=zMin:0.01:zMax;
FracPorosityInt=interp1(z(nnan), FracPor(nnan), zSample);
clear nnan

figure(5)
set(gcf, 'color', 'white', 'name', site)
plot(FracPorosityInt, Porosity, '.blue', 'MarkerSize', 15)
hold on
plot([40 80], [40 80], 'Color', 'red')
hold on
plot([40 80], [47.38 87.38], 'Color', 'black')
hold off
axis([40 80 40 80])
grid
xlabel('\phi errechnet [%]', 'FontSize', 10)
ylabel('\phi gemessen [%]', 'FontSize', 10)
title('\phi errechnet vs. \phi gemessen', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')
clear nnan

end

```

```

%% Korrelation ThermCon vs FracPor, ThermCon vs Rho

% ThermCon vs FracPor
nnan= find( ~isnan(FracPorInt) & ~isnan(ThermConInt));
pFracPorThermCon = polyfit(FracPorInt(nnan),ThermConInt(nnan),1)
corFracPorThermCon = corrcoef(FracPorInt(nnan),ThermConInt(nnan))
clear nnan

figure(6)
set(gcf,'color','white','name', site)
errorbar(FracPorInt,ThermConInt,errorThermCon,'xr')
hold on
plot(FracPorInt,ThermConInt,'.blue','MarkerSize',15)
hold off
title('k vs. \phi','FontSize',12,'FontWeight','bold')
axis([x3min x3max x6min x6max])
grid
xlabel(labelFracPor,'FontSize',10)
ylabel(labelThermCon,'FontSize',10)

% ThermCon vs GamDens
nnan= find( ~isnan(ThermConInt) & ~isnan(GamDensInt));
pGamDensThermCon = polyfit(GamDensInt(nnan), ThermConInt(nnan),1)
corGamDensThermCon = corrcoef(GamDensInt(nnan), ThermConInt(nnan))
clear nnan

figure(7)
set(gcf,'color','white','name', site)
errorbar(GamDensInt,ThermConInt,errorThermCon,'xr')
hold on
plot(GamDensInt,ThermConInt,'.blue','MarkerSize',15)
hold off
title([site ' k vs. Gamma-Dichte'],'FontSize',12,'FontWeight','bold')
axis([x2min x2max x6min x6max])
grid
ylabel(labelThermCon,'FontSize',10)
xlabel(labelGamDens,'FontSize',10)

% ThermCon vs Rho
nnan= find( ~isnan(ThermConInt) & ~isnan(rhoInt));
pRhoThermCon = polyfit(ThermConInt(nnan), rhoInt(nnan),1)
corRhoThermCon = corrcoef(ThermConInt(nnan), rhoInt(nnan))
clear nnan

figure(8)
set(gcf,'color','white','name', site)
plot(ThermConInt,rhoInt,'.blue','MarkerSize',15)
title([site ' k vs. \rho'],'FontSize',12,'FontWeight','bold')
axis([x6min x6max x5min x5max])
grid
ylabel(labelRho,'FontSize',10)
xlabel(labelThermCon,'FontSize',10)

% Subplot ThermCon vs FracPor + ThermCon vs GamDens + ThermCon vs Rho

figure(9)

```



```

set(gcf,'color','white','name', site)

subplot(1,3,1)
plot(FracPorInt,ThermConInt,'.blue','MarkerSize',15)
title('k vs. \phi','FontSize',10,'FontWeight','bold')
axis([x3min x3max x6min x6max])
grid
xlabel(labelFracPor,'FontSize',10)
ylabel(labelThermCon,'FontSize',10)

subplot(1,3,2)
plot(GamDensInt,ThermConInt,'.blue','MarkerSize',15)
title([site ' k vs. Gamma-Dichte'],'FontSize',12,'FontWeight','bold')
axis([x2min x2max x6min x6max])
grid
ylabel(labelThermCon,'FontSize',10)
xlabel(labelGamDens,'FontSize',10)

subplot(1,3,3)
plot(ThermConInt,rhoInt,'.blue','MarkerSize',15)
title('k vs. \rho','FontSize',12,'FontWeight','bold')
axis([x6min x6max x5min x5max])
grid
ylabel(labelRho,'FontSize',10)
xlabel(labelThermCon,'FontSize',10)

%% Plotten für Überprüfung Archie's Law
% Archie's Law:  $\rho = a \cdot \rho_w \cdot (1/\phi)^m = 1 \cdot \rho_w \cdot \phi^{-m}$ 
% Rho vs FracPor

figure(10)
set(gcf,'color','white','name', site)
errorbar(FracPorInt,rhoInt,errorRho,'xr')
hold on
plot(FracPorInt,rhoInt,'.blue','MarkerSize',15)
hold off
title('\rho vs. \phi','FontSize',12,'FontWeight','bold')
axis([x3min x3max x5min x5max])
grid
xlabel(labelFracPor,'FontSize',10)
ylabel(labelRho,'FontSize',10)

% Doppellogarithmischer Plot
figure(11)
set(gcf,'color','white','name', site)
loglog(FracPorInt,rhoInt,'.blue','MarkerSize',15)
axis([10 100 0.1 1])
xlabel(labelFracPor,'FontSize',10)
ylabel(labelRho,'FontSize',10)
grid

% Linearisierung und Berechnung der Archie-Parameter a und m

%  $\rho = a \cdot \rho_w \cdot (1/\phi)^m = 1 \cdot \rho_w \cdot \phi^{-m}$ 
%  $\log(\rho) = \log(a) + \log(\rho_w) - m \cdot \log(\phi)$ 
%  $y = c + m \cdot x$ 
%  $y = \log(\rho)$   $x = \log(\phi)$   $c = \log(\rho_w)$   $m = -m$ 

```

```

% Linearisierung
logFracPorInt=log10(FracPorInt/100); %y
logRhoInt=log10(rhoInt); %x

% 1 bedeutet Polynom ersten Grades = Gerade
% Berechnung der Archie-Parameter
nnan= find( ~isnan(logFracPorInt) & ~isnan(logRhoInt));
pArchie = polyfit(logFracPorInt(nnan),logRhoInt(nnan),1);
clear nnan

m=pArchie(1)*(-1)
rhoW=10^(pArchie(2))

FracPorPlot=(45:0.1:70);
for j=1:length(FracPorPlot)

rhoPlot(j)=rhoW/((FracPorPlot(j)/100)^m);

end
clear j
% Plotten der Ausgleichskurve
figure(12)
set(gcf,'color','white','name', site)
errorbar(FracPorInt,rhoInt,errorRho,'xr')
hold on
plot(FracPorInt,rhoInt,'.blue','MarkerSize',15)
hold on
plot(FracPorPlot,rhoPlot,'Color','red')
hold off
ylabel('\rho [\Omega m]','FontSize',10)
xlabel('\phi [%]','FontSize',10)
grid
title('\rho vs. \phi mit Archie berech-
net','FontSize',12,'FontWeight','bold')

%% Erzeugen eines Structure Arrays aller Variablen
% Zusammenfassung der Daten aller Kerne

northpond(1,u).Corenumber=site;
northpond(1,u).GamDensInt=GamDensInt;
northpond(1,u).FracPorInt=FracPorInt;
northpond(1,u).logFracPorInt=logFracPorInt;
if u==1 || u==2 || u==5 || u==6 || u==7 || u==8 || u==9 || u==10
northpond(1,u).Porosity=Porosity;
end
northpond(1,u).ThermConInt=ThermConInt;
northpond(1,u).errorThermCon=errorThermCon;
northpond(1,u).rhoInt=rhoInt;
northpond(1,u).errorRho=errorRho;
northpond(1,u).logRhoInt=logRhoInt;
northpond(1,u).zInt=zInt;

%% Printabfrage
% Speichern der erstellten Abbildungen
if printswitch==1
saveas(1,([site 'MSCL-Daten']),'png')
saveas(2,([site 'Rho_und_K']),'png')
saveas(3,([site 'Nicht_Interpoliert']),'png')
saveas(4,([site 'Interpoliert_mit_gemessen_Por']),'png')

```

```

if u==1 || u==2 || u==5 || u==6 || u==7 || u==8 || u==9 || u==10
    saveas(5, ([site 'gemessene_und_errechnete_Por']), 'png')
end
    saveas(6, ([site 'k_gegen_Por']), 'png')
    saveas(7, ([site 'k_gegen_Dichte']), 'png')
    saveas(8, ([site 'k_gegen_Rho']), 'png')
    saveas(9, ([site 'Subplot_kPor_kDichte_kRho']), 'png')
    saveas(10, ([site 'Rho_gegen_Por_normal']), 'png')
    saveas(11, ([site 'Rho_gegen_Por_doppellog']), 'png')
    saveas(12, ([site 'Rho_gegen_Por_linear']), 'png')
end

pause

%% Aufräumen
% Löschen der Daten vor erneutem Durchlauf der Schleife
clear CalcPorosityInt
clear CalcPorosityIntPlot
clear Corethickness
clear FracPor
clear FracPorInt
clear GamDens
clear GamDensInt
clear MagSus
clear SecChange
clear SecDepth
clear SecNum
clear ThermCon
clear ThermConInt
clear ans
clear corFracPorThermCon
clear corRhoThermCon
clear fid
clear inPhaseVoltage
clear ind
clear kernnummer
clear logFracPorInt
clear logRhoInt
clear Porosity
clear PorosityPlot
clear pArchie
clear pFracPorThermCon
clear pRhoThermCon
clear pfad
clear rho
clear rhoInt
clear site
clear x1min
clear x1max
clear x2min
clear x2max
clear x3min
clear x3max
clear x4min
clear x4max
clear x5min
clear x5max
clear x6min
clear x6max
clear y

```

```

clear z
clear zInt
clear zMax
clear zMin
clear zRho
clear zThermCon
clear zSample
clear zPorInt
clear labelFracPor
clear labelGamDens
clear labelRho
clear labelThermCon
clear labelMagSus
clear labelCorethicknes
clear corGamDensThermCon
clear f
clear pGamDensThermCon
clear q
clear FracPorPlot
clear rhoPlot
clear FracPorosityInt
clear errorRho
clear errorThermCon
clear labelCorethickness
clear rhoW

close all

end

%% Aufräumen II
clear g
clear m
clear u
clear printswitch
clear data

%% Speicherung des Structure Arrays
save northpond.mat, 'northpond';

```

MATLAB-Programm 2: alldata.m

Unten dargestellt ist der Code des Matlab-Programms alldata.m, das nach dem Programm createall.m durchgeführt wird. alldata.m verwendet die in createall.m zusammengefassten Daten aller Kerne zur Auswertung auf der Gesamtdatenbasis. Außerdem wurden alle grafischen Darstellungen zur Auswertung der Gesamtdaten mittels dieses Programms erzeugt. Die statistische Untersuchung der Kerndaten wurde ebenfalls mit Hilfe dieses Programms durchgeführt. Zusätzlich wurden Daten des ODP-Legs 174 Hole 1074A eingelesen und ausgewertet.

```
% Datenauswertung der Gesamtdatenbasis
% inklusiver der Überprüfung auf Gültigkeit von Archie's Law, der Überprüfung
% der verschiedenen Modelle der Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit der Porosität
% und die statistischen Untersuchung der Gesamtdatenbasis

% Diese Routine folgt der Durchführung der Routine creatall.m
clear all
close all

load northpond

printswitch=1;

%% Archie's Law
% Plotten der gesamten Datenbasis von rho vs. errechneter Porosität

% Plot rho vs. phi
figure(1)
set(gcf, 'color', 'white')
plot(northpond(1,1).FracPorInt, northpond(1,1).rhoInt, '.y', 'MarkerSize', 15)
hold on
plot(northpond(1,2).FracPorInt, northpond(1,2).rhoInt, '.m', 'MarkerSize', 15)
hold on
plot(northpond(1,3).FracPorInt, northpond(1,3).rhoInt, '.c', 'MarkerSize', 15)
hold on
plot(northpond(1,4).FracPorInt, northpond(1,4).rhoInt, '.b', 'MarkerSize', 15)
hold on
plot(northpond(1,5).FracPorInt, northpond(1,5).rhoInt, '.r', 'MarkerSize', 15)
hold on
plot(northpond(1,6).FracPorInt, northpond(1,6).rhoInt, '.g', 'MarkerSize', 15)
hold on
plot(northpond(1,7).FracPorInt, northpond(1,7).rhoInt, '.', 'MarkerSize', 15, 'MarkerEdgeColor', ([0.6 0.6 0.0]), 'MarkerFaceColor', ([0.6 0.6 0.0]))
hold on
plot(northpond(1,8).FracPorInt, northpond(1,8).rhoInt, '.k', 'MarkerSize', 15)
hold on
plot(northpond(1,9).FracPorInt, northpond(1,9).rhoInt, '.', 'MarkerSize', 15, 'MarkerEdgeColor', ([0.0 0.6 0.6]), 'MarkerFaceColor', ([0.0 0.6 0.6]))
hold on
plot(northpond(1,10).FracPorInt, northpond(1,10).rhoInt, '.', 'MarkerSize', 15, 'MarkerEdgeColor', ([0.6 0.0 0.6]), 'MarkerFaceColor', ([0.6 0.0 0.6]))
```

```

ylabel('\rho [\Omega m]','FontSize',10)
xlabel('\phi [%]','FontSize',10)
legend('GeoB 13501-1','GeoB 13502-1','GeoB 13503-1','GeoB 13506-1','GeoB
13507-1','GeoB 13508-1','GeoB 13509-1','GeoB 13510-1','GeoB 13511-1','GeoB
13513-1',2)
grid
hold off
title('\rho vs. \phi' , 'FontSize',12, 'FontWeight', 'bold')

% Doppellogarithmischer Plot rho vs. phi
figure(2)
set(gcf, 'color', 'white')
loglog(northpond(1,1).FracPorInt,northpond(1,1).rhoInt, '.y', 'MarkerSize',15
)
hold on
loglog(northpond(1,2).FracPorInt,northpond(1,2).rhoInt, '.m', 'MarkerSize',15
)
hold on
loglog(northpond(1,3).FracPorInt,northpond(1,3).rhoInt, '.c', 'MarkerSize',15
)
hold on
loglog(northpond(1,4).FracPorInt,northpond(1,4).rhoInt, '.b', 'MarkerSize',15
)
hold on
loglog(northpond(1,5).FracPorInt,northpond(1,5).rhoInt, '.r', 'MarkerSize',15
)
hold on
loglog(northpond(1,6).FracPorInt,northpond(1,6).rhoInt, '.g', 'MarkerSize',15
)
hold on
loglog(northpond(1,7).FracPorInt,northpond(1,7).rhoInt, '.', 'MarkerSize',15,
'MarkerEdgeColor', ([0.6 0.6 0.0]), 'MarkerFaceColor', ([0.6 0.6 0.0]))
hold on
loglog(northpond(1,8).FracPorInt,northpond(1,8).rhoInt, '.k', 'MarkerSize',15
)
hold on
loglog(northpond(1,9).FracPorInt,northpond(1,9).rhoInt, '.', 'MarkerSize',15,
'MarkerEdgeColor', ([0.0 0.6 0.6]), 'MarkerFaceColor', ([0.0 0.6 0.6]))
hold on
loglog(northpond(1,10).FracPorInt,northpond(1,10).rhoInt, '.', 'MarkerSize',1
5, 'MarkerEdgeColor', ([0.6 0.0 0.6]), 'MarkerFaceColor', ([0.6 0.0 0.6]))
ylabel('\rho [\Omega m]','FontSize',10)
xlabel('\phi','FontSize',10)
legend('GeoB 13501-1','GeoB 13502-1','GeoB 13503-1','GeoB 13506-1','GeoB
13507-1','GeoB 13508-1','GeoB 13509-1','GeoB 13510-1','GeoB 13511-1','GeoB
13513-1',2)
axis([10 100 0.1 1])
grid
hold off
title('\rho vs. \phi' , 'FontSize',12, 'FontWeight', 'bold')

% Linearisierung durch Plotten der Logarithmen von rho und phi: log(rho)
% vs. log(phi)
figure(3)
set(gcf, 'color', 'white')
plot(northpond(1,1).logFracPorInt,northpond(1,1).logRhoInt, '.y', 'MarkerSize
',15)
hold on

```

```

plot(northpond(1,2).logFracPorInt,northpond(1,2).logRhoInt, '.m', 'MarkerSize',15)
hold on
plot(northpond(1,3).logFracPorInt,northpond(1,3).logRhoInt, '.c', 'MarkerSize',15)
hold on
plot(northpond(1,4).logFracPorInt,northpond(1,4).logRhoInt, '.b', 'MarkerSize',15)
hold on
plot(northpond(1,5).logFracPorInt,northpond(1,5).logRhoInt, '.r', 'MarkerSize',15)
hold on
plot(northpond(1,6).logFracPorInt,northpond(1,6).logRhoInt, '.g', 'MarkerSize',15)
hold on
plot(northpond(1,7).logFracPorInt,northpond(1,7).logRhoInt, '.', 'MarkerSize',15, 'MarkerEdgeColor', ([0.6 0.6 0.0]), 'MarkerFaceColor', ([0.6 0.6 0.0]))
hold on
plot(northpond(1,8).logFracPorInt,northpond(1,8).logRhoInt, '.k', 'MarkerSize',15)
hold on
plot(northpond(1,9).logFracPorInt,northpond(1,9).logRhoInt, '.', 'MarkerSize',15, 'MarkerEdgeColor', ([0.0 0.6 0.6]), 'MarkerFaceColor', ([0.0 0.6 0.6]))
hold on
plot(northpond(1,10).logFracPorInt,northpond(1,10).logRhoInt, '.', 'MarkerSize',15, 'MarkerEdgeColor', ([0.6 0.0 0.6]), 'MarkerFaceColor', ([0.6 0.0 0.6]))
ylabel('Log(\rho) [\Omega m]', 'FontSize',10)
xlabel('Log(\phi) [%]', 'FontSize',10)
legend('GeoB 13501-1', 'GeoB 13502-1', 'GeoB 13503-1', 'GeoB 13506-1', 'GeoB 13507-1', 'GeoB 13508-1', 'GeoB 13509-1', 'GeoB 13510-1', 'GeoB 13511-1', 'GeoB 13513-1')
grid
hold off
title('\rho vs. \phi linearisiert', 'FontSize',12, 'FontWeight', 'bold')

% Vektor der Widerstandsdaten
j=length(northpond(1,1).rhoInt);
k=length(northpond(1,2).rhoInt);
rho=northpond(1,1).rhoInt;
rho((j+1):(j+k))=northpond(1,2).rhoInt;
clear j
clear k
for u=3:10

j=length(northpond(1,u).rhoInt);
k=length(rho);
rho((k+1):(j+k))=northpond(1,u).rhoInt;

end
clear j
clear k
clear u

% Vektor der log(Widerstandsdaten)
j=length(northpond(1,1).logRhoInt);
k=length(northpond(1,2).logRhoInt);
logRho=northpond(1,1).logRhoInt;
logRho((j+1):(j+k))=northpond(1,2).logRhoInt;
clear j
clear k

```

```

for u=3:10

j=length(northpond(1,u).logRhoInt);
k=length(logRho);
logRho((k+1):(j+k))=northpond(1,u).logRhoInt;

end
clear j
clear k
clear u

% Vektor der errechneter Porositäten
j=length(northpond(1,1).FracPorInt);
k=length(northpond(1,2).FracPorInt);
FracPor=northpond(1,1).FracPorInt;
FracPor((j+1):(j+k))=northpond(1,2).FracPorInt;
clear j
clear k
for u=3:10

j=length(northpond(1,u).FracPorInt);
k=length(FracPor);
FracPor((k+1):(j+k))=northpond(1,u).FracPorInt;

end
FracPor=FracPor/100;
clear j
clear k
clear u

% Vektor der log(errechneter Porositäten)
j=length(northpond(1,1).logFracPorInt);
k=length(northpond(1,2).logFracPorInt);
logFracPor=northpond(1,1).logFracPorInt;
logFracPor((j+1):(j+k))=northpond(1,2).logFracPorInt;
clear j
clear k
for u=3:10

j=length(northpond(1,u).logFracPorInt);
k=length(logFracPor);
logFracPor((k+1):(j+k))=northpond(1,u).logFracPorInt;

end
clear j
clear k
clear u

% 1 bedeutet Polynom ersten Grades = Gerade
% Berechnung der Archie-Parameter
nnan=find(~isnan(logFracPor) & ~isnan(logRho));
pArchie = polyfit(logFracPor(nnan),logRho(nnan),1);
clear nnan

m=pArchie(1)*(-1)
rhoW=10^(pArchie(2))

```



```

FracPorPlot=(0.45:0.001:0.70);
for j=1:length(FracPorPlot)
rhoPlot(j)=rhoW/((FracPorPlot(j))^m);
end
clear j

for j=1:length(FracPorPlot)
rhoBoycePlot13(j)=0.2*1.3*(FracPorPlot(j)^(-1.45));
end
clear j

for j=1:length(FracPorPlot)
rhoBoycePlot10(j)=0.2*1.0*(FracPorPlot(j)^(-1.45));
end
clear j

% Plotten der Ausgleichskurve
figure(4)
set(gcf,'color','white')
plot(FracPor,rho,'.blue','MarkerSize',15)
hold on
plot(FracPorPlot,rhoPlot,'Color','red')
hold on
plot(FracPorPlot,rhoBoycePlot13,'g-')
hold on
plot(FracPorPlot,rhoBoycePlot10,'g-.')
hold off
ylabel('\rho [\Omega m]','FontSize',10)
xlabel('\phi "fractional porosity"', 'FontSize',10)
grid
% title('\rho vs. \phi mit Archie berech-
net','FontSize',12,'FontWeight','bold')
%% Widerstand gegen Porosität Darstellung der Mittel von rho
% Plot der Mittelwerte der Wärmeleitfähigkeit in 8 Klassen der Porosität
% mit einer Größe von phi=0.02, der zugehörigen Fehlerkreuze der
% Standardabweichung und des Geometrisches-Mittel-Modell aus den oben
% errechneten Werte für kf und km

classes=[0.50 0.525 0.55 0.575 0.6 0.625 0.65];
nnan=find(~isnan(rho));
rhoMid=rho(nnan);
FracPorMid=FracPor(nnan);
for u=1:6

clas = find(FracPorMid >= classes(u) & FracPorMid <= classes(u+1));
meanClassesRho(u) = mean(rhoMid(clas));
stdClassesRho(u)= std(rhoMid(clas));
end
clear u

Por=(0.45:0.001:0.70);
for j=1:length(Por)
rhoMidPlot(j)=rhoW/((Por(j))^m);
end
clear j
for j=1:length(Por)
rhoBoyce13(j)=0.2*1.3*(Por(j)^(-1.45));
end
clear j
for j=1:length(Por)
rhoBoyce10(j)=0.2*1.0*(Por(j)^(-1.45));

```

```

end
clear j

meanPlotFracPor=[0.5125 0.5375 0.5625 0.5875 0.6125 0.6375];
figure(20)
set(gcf,'color','white')
errorbar(meanPlotFracPor,meanClassesRho,stdClassesRho,'xb')
hold on
plot(meanPlotFracPor, meanClassesRho, '.b', 'MarkerSize',15)
hold on
plot(Por,rhoMidPlot,'r')
hold on
plot(FracPorPlot,rhoBoycePlot13,'g-')
hold on
plot(FracPorPlot,rhoBoycePlot10,'g-.')
xlabel('\phi "fractional porosity"', 'FontSize',10)
ylabel('\rho [\Omega m]', 'FontSize',10)
axis([0.45 0.7 0.2 0.7])
grid
hold off
title('\rho vs. \phi', 'FontSize',12, 'FontWeight', 'bold')

%% Wärmeleitfähigkeit gegen Porosität

%Plot der Wärmeleitfähigkeit gegen errechnete Porosität aller 10 Kerne k
vs. phi
figure(5)
set(gcf,'color','white')
plot(northpond(1,1).FracPorInt,northpond(1,1).ThermConInt, '.y', 'MarkerSize'
,15)
hold on
plot(northpond(1,2).FracPorInt,northpond(1,2).ThermConInt, '.m', 'MarkerSize'
,15)
hold on
plot(northpond(1,3).FracPorInt,northpond(1,3).ThermConInt, '.c', 'MarkerSize'
,15)
hold on
plot(northpond(1,4).FracPorInt,northpond(1,4).ThermConInt, '.b', 'MarkerSize'
,15)
hold on
plot(northpond(1,5).FracPorInt,northpond(1,5).ThermConInt, '.r', 'MarkerSize'
,15)
hold on
plot(northpond(1,6).FracPorInt,northpond(1,6).ThermConInt, '.g', 'MarkerSize'
,15)
hold on
plot(northpond(1,7).FracPorInt,northpond(1,7).ThermConInt, '.', 'MarkerSize'
,15, 'MarkerEdgeColor', ([0.6 0.6 0.0]), 'MarkerFaceColor', ([0.6 0.6 0.0]))
hold on
plot(northpond(1,8).FracPorInt,northpond(1,8).ThermConInt, '.k', 'MarkerSize'
,15)
hold on
plot(northpond(1,9).FracPorInt,northpond(1,9).ThermConInt, '.', 'MarkerSize'
,15, 'MarkerEdgeColor', ([0.0 0.6 0.6]), 'MarkerFaceColor', ([0.0 0.6 0.6]))
hold on
plot(northpond(1,10).FracPorInt,northpond(1,10).ThermConInt, '.', 'MarkerSize'
,15, 'MarkerEdgeColor', ([0.6 0.0 0.6]), 'MarkerFaceColor', ([0.6 0.0 0.6]))
xlabel('Errechnete Porosität \phi [%]', 'FontSize',10)
ylabel('Wärmeleitfähigkeit k [W/m*K]', 'FontSize',10)

```

```

legend('GeoB 13501-1','GeoB 13502-1','GeoB 13503-1','GeoB 13506-1','GeoB
13507-1','GeoB 13508-1','GeoB 13509-1','GeoB 13510-1','GeoB 13511-1','GeoB
13513-1')
grid
hold off
title('k vs. \phi','FontSize',12,'FontWeight','bold')

%% Test k=kf^phi * km^(1-phi)
% Überprüfund des Geometrischen Mittel von km und kf

% Vektor aller errechneter Porositäten
j=length(northpond(1,1).FracPorInt);
k=length(northpond(1,2).FracPorInt);
FracPor=northpond(1,1).FracPorInt;
FracPor((j+1):(j+k))=northpond(1,2).FracPorInt;
clear j
clear k
for u=3:10

j=length(northpond(1,u).FracPorInt);
k=length(FracPor);
FracPor((k+1):(j+k))=northpond(1,u).FracPorInt;

end
FracPor=FracPor/100;
clear j
clear k
clear u

% Vektor aller log-Wärmeleitfähigkeiten
j=length(northpond(1,1).ThermConInt);
k=length(northpond(1,2).ThermConInt);
ThermCon=northpond(1,1).ThermConInt;
ThermCon((j+1):(j+k))=northpond(1,2).ThermConInt;
clear j
clear k
for u=3:10

j=length(northpond(1,u).ThermConInt);
k=length(ThermCon);
ThermCon((k+1):(j+k))=northpond(1,u).ThermConInt;

end
clear j
clear k
clear u
logThermCon=log10(ThermCon);

% Plot und lineare Regression von log(k) vs. phi

nnan=find( ~isnan(FracPor) & ~isnan(logThermCon));
p= polyfit(FracPor(nnan),logThermCon(nnan),1);
pp=polyval(p,FracPor(nnan));

figure(6)
set(gcf,'color','white')
plot(FracPor,logThermCon,'.b','MarkerSize',15)
hold on
plot(FracPor(nnan),pp)
hold off

```

```

xlabel(' \phi ', 'FontSize', 10)
ylabel('log(k) [W/m*K]', 'FontSize', 10)
grid
hold off
% title('log(k) vs. \phi', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')
clear nnan
clear pp

mGeoM=p(1)
aGeoM=p(2)
kfGeoM = (10^p(1))* (10^p(2))
kmGeoM = 10^p(2)

clear p
clear pp

%% Test k=kf*phi+km*(1-phi)=phi*(kf-km)+km

nnan=find( ~isnan(FracPor) & ~isnan(ThermCon));
p= polyfit(FracPor(nnan),ThermCon(nnan),1);
pp=polyval(p,FracPor(nnan),[0.85;1.05]);
figure(7)
set(gcf, 'color', 'white')
plot(FracPor, ThermCon, '.b', FracPor(nnan), pp)
xlabel(' \phi ', 'FontSize', 10)
ylabel('k [W/m*K]', 'FontSize', 10)
grid
hold off
title('k vs. \phi', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')

mLin=p(1)
aLin=p(2)
kmLin=aLin
kfLin=mLin+kmLin
clear nnan
clear p
clear pp

%% Wärmeleitfähigkeit gegen Porosität Darstellung der Mittel von k
% Plot der Mittelwerte der Wärmeleitfähigkeit in 8 Klassen der Porosität
% mit einer Größe von phi=0.02, der zugehörigen Fehlerkreuze der
% Standardabweichung und des Geometrisches-Mittel-Modell aus den oben
% errechneten Werte für kf und km

classes=[ 0.50 0.52 0.53 0.54 0.56 0.58 0.60 0.62 0.64 0.66];
nnan=find(~isnan(ThermCon));
ThermConMid=ThermCon(nnan);
FracPorMid=FracPor(nnan);
for u=1:8

clas = find(FracPorMid >= classes(u) & FracPorMid <= classes(u+1));
meanClassesThermCon(u) = mean(ThermConMid(clas));
stdClassesThermCon(u)= std(ThermConMid(clas));
end
clear u

Por=(0.45:0.01:0.75);
for u=1:length(Por)
kGeoM(u) = kfGeoM^(Por(u)) * kmGeoM^(1-Por(u));

```

```

end
clear u

% Wärmeleitfähigkeit nach Brigaud und Vasseur
for u=1:length(Por)
kBV(u) = 0.6^(Por(u)) * 2.7^(1-Por(u));
end
clear u

meanPlotFracPor=[0.51 0.53 0.55 0.57 0.59 0.61 0.63 0.65];
figure(8)
set(gcf, 'color', 'white')
errorbar(meanPlotFracPor, meanClassesThermCon, stdClassesThermCon, 'xr')
hold on
plot(meanPlotFracPor, meanClassesThermCon, '.r', 'MarkerSize', 15)
hold on
plot(Por, kGeoM, 'b')
hold on
plot(Por, kBV, 'g')
xlabel('\phi "fractional porosity"', 'FontSize', 10)
ylabel('k [W/m*K]', 'FontSize', 10)
axis([0.45 0.75 0.8 1.25])
grid
hold off
% title('k vs. \phi', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')

%% Wärmeleitfähigkeit gegen Dichte

% Plot der Wärmeleitfähigkeit gegen Gamma-Dichte k vs. rho-GD
figure(9)
set(gcf, 'color', 'white')
plot(northpond(1,1).GamDensInt, northpond(1,1).ThermConInt, '.y', 'MarkerSize', 15)
hold on
plot(northpond(1,2).GamDensInt, northpond(1,2).ThermConInt, '.m', 'MarkerSize', 15)
hold on
plot(northpond(1,3).GamDensInt, northpond(1,3).ThermConInt, '.c', 'MarkerSize', 15)
hold on
plot(northpond(1,4).GamDensInt, northpond(1,4).ThermConInt, '.b', 'MarkerSize', 15)
hold on
plot(northpond(1,5).GamDensInt, northpond(1,5).ThermConInt, '.r', 'MarkerSize', 15)
hold on
plot(northpond(1,6).GamDensInt, northpond(1,6).ThermConInt, '.g', 'MarkerSize', 15)
hold on
plot(northpond(1,7).GamDensInt, northpond(1,7).ThermConInt, '.', 'MarkerSize', 15, 'MarkerEdgeColor', ([0.6 0.6 0.0]), 'MarkerFaceColor', ([0.6 0.6 0.0]))
hold on
plot(northpond(1,8).GamDensInt, northpond(1,8).ThermConInt, '.k', 'MarkerSize', 15)
hold on
plot(northpond(1,9).GamDensInt, northpond(1,9).ThermConInt, '.', 'MarkerSize', 15, 'MarkerEdgeColor', ([0.0 0.6 0.6]), 'MarkerFaceColor', ([0.0 0.6 0.6]))
hold on
plot(northpond(1,10).GamDensInt, northpond(1,10).ThermConInt, '.', 'MarkerSize', 15, 'MarkerEdgeColor', ([0.6 0.0 0.6]), 'MarkerFaceColor', ([0.6 0.0 0.6]))

```

```

xlabel('Gamma-Dichte d [g/cm³'],'FontSize',10)
ylabel('Wärmeleitfähigkeit k [W/m*K]','FontSize',10)
legend('GeoB 13501-1','GeoB 13502-1','GeoB 13503-1','GeoB 13506-1','GeoB
13507-1','GeoB 13508-1','GeoB 13509-1','GeoB 13510-1','GeoB 13511-1','GeoB
13513-1')
grid
hold off
% title('k vs. Gamma-Dichte \rho','FontSize',12,'FontWeight','bold')

%% Wärmeleitfähigkeit gegen spez.Widerstand

% Plot k vs. rho
figure(10)
set(gcf,'color','white')
plot(northpond(1,1).ThermConInt,northpond(1,1).rhoInt,'.y','MarkerSize',15)
hold on
plot(northpond(1,2).ThermConInt,northpond(1,2).rhoInt,'.m','MarkerSize',15)
hold on
plot(northpond(1,3).ThermConInt,northpond(1,3).rhoInt,'.c','MarkerSize',15)
hold on
plot(northpond(1,4).ThermConInt,northpond(1,4).rhoInt,'.b','MarkerSize',15)
hold on
plot(northpond(1,5).ThermConInt,northpond(1,5).rhoInt,'.r','MarkerSize',15)
hold on
plot(northpond(1,6).ThermConInt,northpond(1,6).rhoInt,'.g','MarkerSize',15)
hold on
plot(northpond(1,7).ThermConInt,northpond(1,7).rhoInt,'.', 'MarkerSize',15, '
MarkerEdgeColor',[0.6 0.6 0.0]), 'MarkerFaceColor',[0.6 0.6 0.0]))
hold on
plot(northpond(1,8).ThermConInt,northpond(1,8).rhoInt,'.k','MarkerSize',15)
hold on
plot(northpond(1,9).ThermConInt,northpond(1,9).rhoInt,'.', 'MarkerSize',15, '
MarkerEdgeColor',[0.0 0.6 0.6]), 'MarkerFaceColor',[0.0 0.6 0.6]))
hold on
plot(northpond(1,10).ThermConInt,northpond(1,10).rhoInt,'.', 'MarkerSize',15, '
MarkerEdgeColor',[0.6 0.0 0.6]), 'MarkerFaceColor',[0.6 0.0 0.6]))
hold on
ylabel('spez. Widerstand \rho [\Omega m]','FontSize',10)
xlabel('Wärmeleitfähigkeit k [W/m*K]','FontSize',10)
legend('GeoB 13501-1','GeoB 13502-1','GeoB 13503-1','GeoB 13506-1','GeoB
13507-1','GeoB 13508-1','GeoB 13509-1','GeoB 13510-1','GeoB 13511-1','GeoB
13513-1')
grid
hold off
% title('\rho vs. k','FontSize',12,'FontWeight','bold')

% Korrelierender Teilbereich
j=length(northpond(1,5).rhoInt);
k=length(northpond(1,8).rhoInt);
rho710=northpond(1,5).rhoInt;
rho710((j+1):(j+k))=northpond(1,8).rhoInt;
clear j
clear k

j=length(northpond(1,5).ThermConInt);
k=length(northpond(1,8).ThermConInt);
ThermCon710=northpond(1,5).ThermConInt;
ThermCon710((j+1):(j+k))=northpond(1,8).ThermConInt;
clear j
clear k

```

```

nnan=find( ~isnan(ThermCon710) & ~isnan(rho710));
p= polyfit(ThermCon710(nnan),rho710(nnan),1);
pp=polyval(p,ThermCon710(nnan),[0.85;1.05]);
figure(11)
set(gcf,'color','white')
plot(ThermCon710,rho710,'.b',ThermCon710(nnan),pp)
ylabel('spez. Widerstand \rho [\Omega m]','FontSize',10)
xlabel('Wärmeleitfähigkeit k [W/m*K]','FontSize',10)
grid
hold off
% title('\rho vs. k Kerne GeoB 13507-1 und GeoB 13510-
1','FontSize',12,'FontWeight','bold')
clear nnan
clear p
clear pp

%% Statistik Histogramme

% Erzeugung von Histogrammen zur Veranschaulichung der Verteilungen der
% gemessenen Parameter

% ThermCon und FracPor(errechnet) oben erzeugt
FracPor=FracPor*100;

% Vektor aller Widerstandsdaten
j=length(northpond(1,1).rhoInt);
k=length(northpond(1,2).rhoInt);
rho=northpond(1,1).rhoInt;
rho((j+1):(j+k))=northpond(1,2).rhoInt;
clear j
clear k
for u=3:10

j=length(northpond(1,u).rhoInt);
k=length(rho);
rho((k+1):(j+k))=northpond(1,u).rhoInt;

end
clear j
clear k
clear u

% Histogramm der Widerstandsdaten
figure(12)
set(gcf,'color','white')
hist(rho,75)
h = findobj(gca,'Type','patch');
set(h,'FaceAlpha',0.8,'FaceColor','r','EdgeColor','r')
xlabel('spez. Widerstand \rho [\Omega m]','FontSize',10)
ylabel('Absolute Häufigkeit','FontSize',10)
box on
clear h

% Histogramm der Wärmeleitfähigkeitsdaten
figure(13)
set(gcf,'color','white')
hist(ThermCon,75)
h = findobj(gca,'Type','patch');

```

```

set(h, 'FaceAlpha', 0.8, 'FaceColor', 'r', 'EdgeColor', 'r')
xlabel('Wärmeleitfähigkeit k [W/m*K]', 'FontSize', 10)
ylabel('Absolute Häufigkeit', 'FontSize', 10)

box on
clear h

% Vektor aller gemessener Porositäten
j=length(northpond(1,1).Porosity);
k=length(northpond(1,2).Porosity);
Porosity=northpond(1,1).Porosity;
Porosity((j+1):(j+k))=northpond(1,2).Porosity;
clear j
clear k
for u=5:10

j=length(northpond(1,u).Porosity);
k=length(Porosity);
Porosity((k+1):(j+k))=northpond(1,u).Porosity;

end
clear j
clear k
clear u

% Histogramm der gemessenen Porositäten
figure(14)
set(gcf, 'color', 'white')
hist(Porosity, 25)
h = findobj(gca, 'Type', 'patch');
set(h, 'FaceAlpha', 0.8, 'FaceColor', 'r', 'EdgeColor', 'r')
xlabel('Gemessene Porositäten \phi [%]', 'FontSize', 10)
ylabel('Absolute Häufigkeit', 'FontSize', 10)

box on
clear h

% Vektor aller Dichten
j=length(northpond(1,1).GamDensInt);
k=length(northpond(1,2).GamDensInt);
GamDens=northpond(1,1).GamDensInt;
GamDens((j+1):(j+k))=northpond(1,2).GamDensInt;
clear j
clear k
for u=3:10

j=length(northpond(1,u).GamDensInt);
k=length(GamDens);
GamDens((k+1):(j+k))=northpond(1,u).GamDensInt;

end
clear j
clear k
clear u

% Histogramm aller Gamma-Dichte-Daten
figure(15)
set(gcf, 'color', 'white')

```



```

hist(GamDens,50)
h = findobj(gca,'Type','patch');
set(h,'FaceAlpha',0.8,'FaceColor','r','EdgeColor','r')
xlabel('Gamma-Dichte d [g/cm³'],'FontSize',10)
ylabel('Absolute Häufigkeit','FontSize',10)
axis([1.5 2 -inf inf])
box on
clear h

% Histogramm aller errechneten Porositäten
figure(16)
set(gcf,'color','white')
hist(FracPor,50)
h = findobj(gca,'Type','patch');
set(h,'FaceAlpha',0.8,'FaceColor','r','EdgeColor','r')
xlabel('Errechnete Porositäten \phi [%]','FontSize',10)
ylabel('Absolute Häufigkeit','FontSize',10)

box on
clear h

% Histogramm der errechneten und gemessenen Porositäten
figure(17)
set(gcf,'color','white')
hist(FracPor,50)
hold on
hist(Porosity,50)
h = findobj(gca,'Type','patch');
set(h(1),'FaceAlpha',0.4,'FaceColor','g','EdgeColor','g')
set(h(2),'FaceAlpha',0.6,'FaceColor','r','EdgeColor','r')
xlabel('Errechnete Porositäten (rot) und gemessene Porositäten (grün) \phi [%]','FontSize',10)
ylabel('Absolute Häufigkeit','FontSize',10)

box on
clear h
hold off

%% Statistik Kennwerte
% Mittelwerte und Standardabweichung für jeweils:

% Errechnete Porositäten
v=find(~isnan(FracPor));
FracPor=FracPor(v);
meanFracPor=mean(FracPor)
StdFracPor=std(FracPor)
clear v

% Gemessene Porositäten
v=find(~isnan(Porosity));
Porosity=Porosity(v);
meanPorosity=mean(Porosity)
StdPorosity=std(Porosity)
clear v

% Gamma-Dichte
v=find(~isnan(GamDens));
GamDens=GamDens(v);

```

```

meanGamDens=mean(GamDens)
StdGamDens=std(GamDens)
clear v

% Wärmeleitfähigkeit
v=find(~isnan(ThermCon));
ThermCon=ThermCon(v);
meanThermCon=mean(ThermCon)
StdThermCon=std(ThermCon)
clear v

% spezifischer Widerstand
v=find(~isnan(rho));
rho=rho(v);
meanRho=mean(rho)
StdRho=std(rho)
clear v

%% Darstellung der Verteilung der MSCL-Dichte-Daten von ODP-Leg 174 Hole
1074A

%erzeugt fid-nummer für textscan
fid =
fopen('C:\Users\Dirk\Documents\Uni\Bachelorarbeit\MATLAB\ODP_Leg174_Hole107
4A.txt','rt');
%schreibt daten in matrix data, %f für double, headerlinesanzahl
%eintragen
data = textscan(fid,'%s %s %s %s %s %s %s %s %f %f','headerlines',2);
%schreibt die spalten in einzelne spaltenvektoren
zODP = data{8};
densODP = data{9};
%clear data
fclose(fid)

% Entfernen von Ausreißern
% Gamma-Dichte
k=find(densODP < 1.5);
densODP(k)=NaN;
k=find(densODP > 2);
densODP(k)=NaN;
clear k

% Histogramm der Dichte
figure(18)
set(gcf,'color','white')
hist(densODP,75)
h = findobj(gca,'Type','patch');
set(h,'FaceAlpha',0.8,'FaceColor','r','EdgeColor','r')
xlabel('Dichte [g/cm³'],'FontSize',10)
ylabel('Absolute Häufigkeit','FontSize',10)
grid
box on
clear h

% Mittelwerte und Standardabweichung
v=find(~isnan(densODP));
densODP=densODP(v);

```

```

meandensODP=mean(densODP)
StddensODP=std(densODP)
zODP=zODP(v);
clear v

% Berechnug der Porosität nach gleichen Parametern

dm=2.75;
df=1.026;
phiODP=(densODP-dm)/(df-dm);
phiODP=phiODP*100;

% Histogramm der Porosität
figure(19)
set(gcf,'color','white')
hist(phiODP,75)
h = findobj(gca,'Type','patch');
set(h,'FaceAlpha',0.8,'FaceColor','r','EdgeColor','r')
xlabel('Porosität [%]','FontSize',10)
ylabel('Absolute Häufigkeit','FontSize',10)
grid
box on
clear h

% mean und Standardabweichung
v=find(~isnan(phiODP));
phiODP=phiODP(v);
meanphiODP=mean(phiODP)
StdphiODP=std(phiODP)
zODP=zODP(v);
clear v

%erzeugt fid-nummer für textscan
fid =
fopen('C:\Users\Dirk\Documents\Uni\Bachelorarbeit\MATLAB\ODP_Leg174_Hole107
4A_MAD.txt','rt');
%schreibt daten in matrix data, %f für double, headerlinesanzahl
%eintragen
data = textscan(fid,'%s %s %s %s %s %s %s %s %f %s %s %f %s %s %f %s %s
%s','headerlines',2);
%schreibt die spalten in einzelne spaltenvektoren
zMAD = data{9};
densMAD = data{12};
phiMAD = data{15};
%clear data
fclose(fid)

% Plot der Dichten und Porositäten
figure(21)
set(gcf,'color','white')
subplot(1,2,1)
plot(densODP,zODP,'Color','blue')
hold on
plot(densMAD,zMAD,'.red','MarkerSize',15)
hold off
grid
axis([1.4 2.0 0 9])
set(gca,'axislocation','bottom','ydir','reverse','FontSize',11)
ylabel('Tiefe [mbsf]','FontSize',10)
xlabel('Dichte [g/cm³]','FontSize',10)

```

```

subplot(1,2,2)
plot(phiODP,zODP,'Color','blue')
hold on
plot(phiMAD,zMAD,'.red','MarkerSize',15)
hold off
axis([45 85 0 9])
set(gca,'axislocation','bottom','ydir','reverse','yTickLabel',{},'FontSize',11)
grid
xlabel('Porosität \phi [%]','FontSize',10)

%% Zusammenfassung aller statistischen Kennwerte
northpondstatistics(1,1).Kennwert='Mittelwerte';
northpondstatistics(1,1).meanGamDens=meanGamDens;
northpondstatistics(1,1).meanFracPor=meanFracPor;
northpondstatistics(1,1).meanPorosity=meanPorosity;
northpondstatistics(1,1).meanThermCon=meanThermCon;
northpondstatistics(1,1).meanRho=meanRho;
northpondstatistics(1,1).KennWert='Standardabweichungen';
northpondstatistics(1,1).StdGamDens=StdGamDens;
northpondstatistics(1,1).StdFracPor=StdFracPor;
northpondstatistics(1,1).StdPorosity=StdPorosity;
northpondstatistics(1,1).StdThermCon=StdThermCon;
northpondstatistics(1,1).StdRho=StdRho;

save 'northpondstatistics.mat','northpondstatistics';

%% Printabfrage
% Speichern aller erzeugter Abbildungen
if printswitch==1
    saveas(1,'GesamteDaten_Rho_gegen_Phi','png')
    saveas(2,'GesamteDaten_Rho_gegen_Phi_doppellog','png')
    saveas(3,'GesamteDaten_Rho_gegen_Phi_linear','png')
    saveas(4,'GesamteDaten_Rho_gegen_Phi_berechneteKurve','png')
    saveas(5,'GesamteDaten_k_gegen_Por','png')
    saveas(6,'GesamteDaten_k_gegen_Por_TestGeoMittel','png')
    saveas(7,'GesamteDaten_k_gegen_Por_TestLinear','png')
    saveas(8,'GesamteDaten_k_gegen_Por_MittelDarstellung','png')
    saveas(9,'GesamteDaten_k_gegen_Dichte','png')
    saveas(10,'GesamteDaten_k_gegen_rho','png')
    saveas(11,'13507_und_13510_k_gegen_rho','png')
    saveas(12,'HistogrammWiderstand','png')
    saveas(13,'HistogrammWaermeleitfaehigkeit','png')
    saveas(14,'HistogrammGemessenPor','png')
    saveas(15,'HistogrammGamDens','png')
    saveas(16,'HistogrammErrechnetPor','png')
    saveas(17,'HistogrammBeidePor','png')
    saveas(18,'HistogrammDensODP','png')
    saveas(19,'HistogrammPorosityODP','png')
    saveas(20,'GesamteDaten_Rho_gegen_Phi_MittelDarstellung','png')
    saveas(21,'PorundDensODPMADundMSCL','png')
end

clear printswitch

```

Erklärung gem. § 23 Abs. 9 AT der Bachelor-PO

der Universität Bremen

Ich versichere hiermit, dass ich meine Bachelorarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtliche oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen habe ich unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Weiterhin erkläre ich, dass die Bachelorarbeit in unveränderter Form der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden kann

Ort/Datum: _____

Unterschrift: _____