



DECKBLATT

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
EU 032.2	9K	352144	-	HE	RB	0001	00

Titel der Unterlage: Radionuklidmigration II (Probenuntersuchung): Ermittlung von Gesteinsparametern an Bohrkernen der Bohrung K 101	Seite: I.
	Stand: Januar 1986

Ersteller: TU-CLZ	Textnummer:
----------------------	-------------

Stempelfeld:

PSP-Element TP: 9K/212854	zu Plan-Kapitel: 3.9.4
---------------------------	------------------------

	PL 18.03.86	PL 18.03.86
--	----------------	----------------

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung der PTB.

Revisionsblatt



EU 032.2	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
	9K	352144	-	HE	RB	0001	00

Titel der Unterlage:
 Radionuklidmigration II (Probenuntersuchung):
 Ermittlung von Gesteinsparametern an Bohrkernen der Bohrung K 101

Seite:
 II.
 Stand:
 Januar 1986

Rev.	Revisionsst. Datum	verant. Stelle	Gegenzeichn. Name	rev. Seite	Kat. *)	Erläuterung der Revision

*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur
 Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung
 Kategorie S = substantielle Änderung
 Mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden.



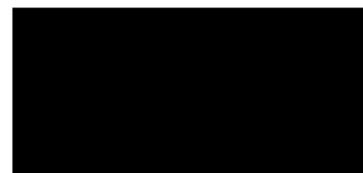
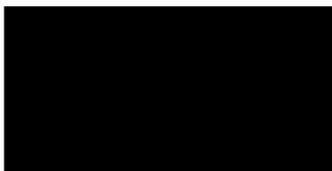
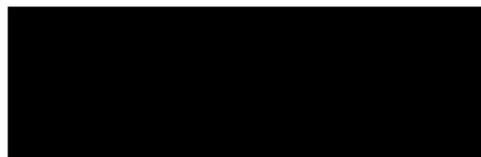
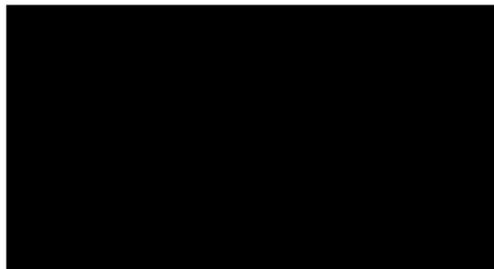
9K/352144/HE/RE/0001/00

EU 22.2

Abschlußbericht TA 2242.16
Radionuklidmigration II (Probenuntersuchung)

(Ermittlung von Gesteinsparametern an
Bohrkernen der Bohrung K 101)

Clausthal-Zellerfeld, im Januar 1986



Sachbearbeiter

Dieser Bericht wurde im Auftrag der PHYSIKALISCH TECHNISCHEN BUNDESANSTALT (PTB) erstellt.
Die PTB behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf der Bericht nur mit Zustimmung der
PTB zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

Inhaltsverzeichnis

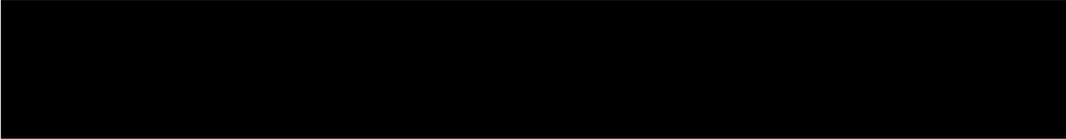
Zusammenfassung	Seite	1
Einleitung	Seite	2
Probenauswahl und Probenbezeichnung	Seite	3
Probenpräparation	Seite	4
Bestimmung der Effektivporosität	Seite	6
Gesamtporosität	Seite	9
Permeabilitätsmessungen	Seite	11
Bestimmung von CO_3^{2-} - und C_{org} -Gehalt	Seite	14
Rasterelektronenmikroskopie	Seite	16
Literaturverzeichnis	Seite	19
Probenbeschreibungen u. Versuchsergebnisse	Seite	20
CO_3^{2-} - und C_{org} -Analysen, Abbildungsverzeichnis .	Seite	47
Tabelle zur Beschreibung des Porenraumes	Anhang	

48 Seiten

16 Abbildungen im Text

1 Tabelle (Anhang)

Zusammenfassung



Ermittlung von Gesteinsparametern an Bohrkernen der
Bohrung K 101 (Sorptionskerne)

Bohrung K 101, Karbonatgehalt, C_{org} -Gehalt, Luftpermeabilität,
Porosität, Porenraumbeschreibung

An 20 Proben aus der Bohrung K 101 sowie einer Probe aus der Schachanlage Konrad wurde der Karbonat- und C_{org} -Gehalt gemessen. An einem Teil dieser Proben wurde zusätzlich die Luftpermeabilität sowie die Effektivporosität bestimmt. Der Probenzustand bei der Messung wurde mit rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen dokumentiert und - soweit möglich - eine Beschreibung des Porenraumes geliefert. Der Bericht enthält neben den Meßergebnissen die Beschreibung der Versuchsbedingungen.

Einleitung

Im Zuge der Untersuchungen über die Schachtanlage Konrad wurde im Dezember 1984 mit dem Abteufen der Bohrung Konrad 101 begonnen. Diese Bohrung sollte frische, möglichst wenig veränderte Proben aus dem Deckgebirge des Erzlagers und seinem Liegenden liefern.

Die Abteilung für Erdölgeologie übernahm von den geplanten Versuchen an den Bohrkernen die Messung von Permeabilität und Porosität sowie die Bestimmung des Karbonatgehaltes. In einer gemeinsamen Besprechung von Vertretern der PHYSIKALISCH-TECHNISCHEN BUNDESANSTALT (Herr [REDACTED] Herr [REDACTED]), der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Herr [REDACTED]) und der Abteilung für Erdölgeologie (Herr [REDACTED] Herr [REDACTED]) wurden folgende Richtlinien festgelegt:

- Die Messung des Karbonatgehaltes erfolgt mit dem Coulomat 701 der Fa. Ströhlein durch Bestimmung von Gesamt-Kohlenstoff und durch anschließende Bestimmung von organischem Kohlenstoff. Die Abt. für Erdölgeologie erklärte sich bereit, die Analysenwerte für organischen Kohlenstoff zusätzlich zu den geforderten Karbonatanalysen abzugeben.
- Die Messung der Permeabilität erfolgt mit Luft. Es werden KLINKENBERG-korrigierte Werte angegeben. Auf die Simulation gebirgsähnlicher Druckverhältnisse wird soweit wie möglich verzichtet, da noch nicht genügend Erfahrungswerte über Tonsteine zur Verfügung stehen.
Anstelle dieser Simulation überprüft die Abt. für Erdölgeologie den Zustand jeder Probe im Elektronenmikroskop, um Fehlinterpretationen durch trockenungsbedingt hohe Permeabilität auszuschließen.
- Die Bohrkerns werden so frisch wie möglich zur Untersuchung geliefert. Die Abt. für Erdölgeologie kommt daher in regelmäßigen Abständen zur Bohrstelle K 101 bzw. zum Kernlager der BGR und wählt hier in Absprache mit der BGR die Proben aus.

Probenauswahl und Probenbezeichnung

- Proben zur Karbonatanalyse

Die Proben lieferte die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in gemahlener Form. Sie sind mit einer fortlaufenden Nummer sowie der Bohrteufe in Metern gekennzeichnet.

- Proben aus dem Sorptionsprogramm

Die Proben wurden von der Bundesanstalt für Geowissenschaften ausgewählt und von der Firma ECS/Nordhorn an der Bohrstelle aufgeteilt. Die Proben waren vom Zeitpunkt der Auswahl bis zur Präparation in Plastikfolie eingeschweißt.

Die Kennzeichnung setzt sich aus einer fortlaufenden Nummer (1 - 9), der Bezeichnung "d Kern" sowie bei der Probe 7 d Kern einer Unterbezeichnung (7 d Kern, 7 d2 Kern, 7 d3 Kern) zusammen.

- Eine weitere Sorptionsprobe im Kimmeridge wurde aus Termingründen in der Schachanlage Konrad, 3. Sohle, Kopfstrecke, Ort 300 genommen.

Probenpräparation

Die gebirgsfeucht entnommenen Kernabschnitte wurden sofort nach dem Eintreffen in Clausthal bearbeitet. Das Anfertigen von Prüfkörpern (30 mm Länge, 30 mm Durchmesser) erfolgte mit Wasserspülung, weil die trockene Präparation die Proben zu stark mechanisch beanspruchte und die Verlustrate daher zu groß war.

Die Anzahl der angefertigten Prüfkörper richtete sich nach den Bearbeitungsmöglichkeiten und nach dem zu erwartenden Probenzerfall: Insbesondere bei den Tonsteinen und Tonmergeln konnte aus den vorliegenden Kernabschnitten nur ein bis zwei unversehrte Prüfkörper angefertigt werden, weil die Innenkerne beim Bohren zerscherten. Die Ursache hierfür ist der geringe Spülungsdruck, durch den das Bohrklein nicht schnell genug weggeführt wird. Dieser Druck konnte nicht weiter erhöht werden, weil sonst der Außenkern, auf dem im Gegensatz zu Bohrungen im Gebirge kein vollständiger Gegendruck lastet, zerscherte.

Um die Verluste bei der Probentrocknung so gering wie möglich zu halten, verlief diese in mehreren Abschnitten:

Zunächst wurden die Proben im Trockenschrank abgedeckt auf 55°C erwärmt, anschließend wurde die Luftfeuchtigkeit über einen Zeitraum von 14 Tagen langsam gesenkt. Erst nach 14 Tagen wurden die Proben im Feinvakuum bei 55°C 24 Stunden lang nachgetrocknet.

Die Empfindlichkeit und die geringe Permeabilität der Gesteine erlaubte es nicht, die Proben in einer Soxhlet-Apparatur von Salzresten zu befreien.

Aus der Mitte der Probenreste, die beim Absaugen der Prüfkörper anfielen, wurde ein Stück zur rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung ausgewählt. Es erschien sinnvoll, dieses Stück ebenfalls nicht weiter zu reinigen, damit an ihm der Zustand des Prüfkörpers zuverlässig zu beobachten war. Ein Verlust an Aussagekraft mußte dabei in Kauf genommen werden.

Die restlichen Probenteile dienten zur Karbonat- und C_{org}-Analyse. Sie wurden in einer Kugelmühle aufgemahlen und homogenisiert.

Nach der Trocknung fand die Auswahl der Prüfkörper nach ihrem Erhaltungszustand statt: Soweit möglich erfolgte die Untersuchung nur an makroskopisch ungestörten und repräsentativen Prüfkörpern. In einzelnen Fällen war es nicht umgehbar, auch zweifelhafte Prüfkörper (mit Andeutung von Rissen, aber noch fest zusammenhängend) zu untersuchen, weil sich kein ungestörter Prüfkörper aus der Probe gewinnen ließ. In solchen Fällen mußten die Versuchsbedingungen auf den Probenzustand abgestimmt werden, wie in den Einzelkapiteln näher erläutert.

Bestimmung der Effektivporosität

Grundsätzlich ist die Bestimmung der Effektivporosität an der Abteilung für Erdölgeologie auf verschiedene Arten möglich. Für diese Messung wurde die Tauchmethode angewendet, weil sie bei niedrig permeablen Proben die größte Zuverlässigkeit gewährleistet:

Die Proben wurden trocken auf der Analysenwaage gewogen und anschließend ca. 6 Stunden evakuiert. Während des Evakuierens wurden die Proben durch Zugabe von Flüssigkeit getränkt und anschl. weitere 12 Stunden im Vakuum unter Flüssigkeit aufbewahrt. Als Tauchflüssigkeit mußte Tetrachlorkohlenstoff dienen, weil das ungiftigere und heute daher fast ausschließlich verwendete Isopropanol zu Probenzerstörungen führte (siehe Abbildung). Nach der Tränkung konnte durch eine Tauchwiegung in Tetrachlorkohlenstoff der Auftrieb der Probe sowie durch eine Naßwiegung die aufgenommene Flüssigkeitsmenge ermittelt werden.

Aus diesen Daten berechnet sich die Effektivporosität nach der Formel:

$$\emptyset = \frac{M_{\text{naß}} - M_{\text{trock}}}{M_{\text{naß}} - M_{\text{get}}} \cdot 100$$

mit

\emptyset = Effektivporosität (%)

M_{trock} = Masse der trockenen Probe

$M_{\text{naß}}$ = Masse der getränkten Probe

M_{get} = Masse der in Flüssigkeit getauchten Probe

sowie die Feststoffdichte ρ_{Fest} (inklusive Totporen)

$$V_{\text{Fest}} = \frac{M_{\text{tr}} - M_{\text{get}}}{\rho_{\text{CCl}_4}} \quad \text{und} \quad \rho_{\text{Fest}} = \frac{M_{\text{tr}}}{V_{\text{Fest}}}$$

und die Bulkdichte ρ_{Bulk}

$$V_{\text{Bulk}} = \frac{M_{\text{naß}} - M_{\text{get}}}{\rho_{\text{CCl}_4}} \quad \text{und} \quad \rho_{\text{Bulk}} = \frac{M_{\text{tr}}}{V_{\text{Bulk}}}$$

mit ρ_{CCl_4} = Dichte des Tetrachlorkohlenstoffs.

Unter Einhaltung einer ausreichenden Tränkungszeit sowie nach sorgfältiger Trocknung der Proben läßt sich die Porosität mit der Tauchmethode auf $\pm 0.5 \%$ (absolut) genau bestimmen. (siehe auch C. SCHMID 1953). Als Kontrolle dienten bei den hier vorliegenden Messungen die Reserve-Prüfkörper: Von einem Kernabschnitt wurde jeweils die Hälfte der Kerne in einem Meßgang, die andere Hälfte im darauf folgenden Meßgang gemessen. Zeigten sich hierbei Abweichungen in Porosität und Dichte, die nicht mit makroskopisch sichtbaren Unterschieden erklärt werden konnten, so wurde die Messung wiederholt.

Bei einigen Proben, bei denen sich die Porosität der Prüfkörper unterschied, sind alle Angaben in der Probenbeschreibung vorhanden. Mußten zur Porositätsmessung Kerne mit makroskopisch sichtbaren Rissen herangezogen werden, so wurden diese vor der Messung, soweit möglich, entlang des Risses gebrochen und die Hälften einzeln gemessen, um möglichst wenig Kluftporosität zu messen.



Abb. 1: Auswirkung der Isopropanoltränkung auf die Proben

Durch die nachlassende Leistung der Vakuumpumpe stellte sich mit zunehmender Meßdauer ein systematischer Fehler ein, der anhand der Wiederholungsmessung nach Vorliegen aller Ergebnisse sichtbar wurde. (Auf Grund von Luftdruckschwankungen fiel die nachlassende Pumpenleistung zunächst nicht auf). Aus Gründen der Genauigkeit fand daher eine Nachmessung an allen Prüfkörpern statt. Um hierbei neben dem Fehler der Vakuumpumpe auch die Auswirkung des schnell verdunsteten Tetrachlorkohlenstoffs feststellen zu können, fand die Wiederholungsmessung mit Kerosin als Tränkungsmedium statt. Um die höhere Viskosität des Kerosins auszugleichen, wurde die Tränkungszeit verlängert. Unter diesen Bedingungen konnte gezeigt werden:

- Bei Einhaltung einer ausreichenden Tränkungszeit sind die gemessenen Werte von der Tetrachlorkohlenstoff- und Kerosintränkung vergleichbar.
- Die Verdunstung des Tetrachlorkohlenstoffs besaß keinen Einfluß auf die Meßergebnisse innerhalb der angegebenen Genauigkeit.
- Soweit sich die einzelnen Prüfkörper einer Probe nicht unterscheiden, lag die Genauigkeit der Messungen bei $\pm 0.6\%$ (absolut).
- Die zuvor berechneten Daten weichen, von wenigen Ausnahmen abgesehen, um weniger als 2% von den gemessenen Werten ab. In den Ausnahmefällen lag die Korndichte durch den Anteil von C_{org} niedriger als erwartet.
- Von der ersten Meßreihe (mit Tetrachlorkohlenstoff) zeigten die Ergebnisse der ersten drei Versuche keinen Fehler durch die nachlassende Leistung der Vakuumpumpe.
- Weitere Fehlerquellen waren nicht feststellbar.

Gesamtporosität

Die Bestimmung der Gesamtporosität erfolgte am aufgemahlten Probenmaterial.

Von einem vorher abgewogenen Probenteil wurde im Beckman-Pyknometer das Volumen bestimmt.

Anhand der aus Masse und Volumen berechneten Feststoffdichte und der Bulkdichte (Tauchmethode) berechnet sich die Gesamtporosität nach der Formel

$$\varnothing_{\text{ges}} = 1 - \frac{\rho_{\text{Bulk}}}{\rho_{\text{Fest}}} \cdot 100$$

Dieser Teil der Porositätsmessung ist als besonders kritisch anzusehen, weil einerseits die Fehler von zwei Meßreihen (Tauchmethode und Pyknometer) in die Ergebnisse eingehen und andererseits die Volumenmessung an pulverförmigen Substanzen mit hoher Oberfläche (Tone) zu Fehlern in der Messung führen.

Eine Wiederholungsmessung mit Helium zeigte, daß erst nach ca. 9facher Evakuierung und Spülung die Luft aus der Meßkammer soweit verdrängt war, daß Adsorption von Luft-Stickstoff keinen Einfluß auf die Meßergebnisse besitzt. Dies entspricht einer Evakuierungszeit von ca. 6 bis 8 Stunden, da durch schnellere Spülung mit größerem Druck die Membrane des Gerätes zerstört wird.

Es handelt sich bei den hier aufgeführten Problemen einerseits um einen gerätetypischen konstruktionsbedingten Fehler, andererseits aber um eine probenspezifische Schwierigkeit (hohe spezifische Oberfläche, die durch die Pulverform verstärkt wird).

Bei zuvor im anderen Zusammenhang gemessenen Proben trat diese Schwierigkeit nicht auf.

Die ermittelten Meßergebnisse wurden aus folgenden Gründen nicht in den Bericht aufgenommen:

- Die ermittelten Dichtewerte hingen von der Einwaage der Probe ab (Adsorptionseffekt)
- Die Dichtewerte lagen in vielen Fällen so deutlich über den Dichtewerten, die sich aus der Bestimmung der Effektivporo-

sität ergaben, daß sie als unwahrscheinlich abzulehnen sind. Die aus ihnen berechnete Totporosität betrug bis zu 9,1 %, die Dichte war insbesondere für die Tone zu hoch (bis 2,86 g/cm³).

Die im Bericht angegebene Korndichte ist daher der Messung der Effektivporosität entnommen und bezieht sich auf die Dichte der Feststoffe inklusive Totporen.

So weit im Rasterelektronenmikroskop Totporen zu sehen waren, findet sich in der Probenbeschreibung ein entsprechender Hinweis. Betroffen hiervon sind vor allem die karbonatischen Proben unterhalb von 700 Meter Teufe.

Permeabilitätsmessungen

Die Permeabilität der Proben wurde in einem von der Abteilung für Erdölgeologie gebauten Gerät mit Luft gemessen:

Das Gerät besteht aus

- einer Steuereinheit für den Fließdruck, die für einen maximalen Fließdruck von 40 bar ausgelegt ist,
- einer Probenhalterung ähnlich einer Hasslerzelle, in der Kerne mit variablem Durchmesser (bis 10 cm) und variabler Länge (bis 14 cm) bei einem annähernd triaxialen Druck von bis zu 1400 bar (Manteldruck) gemessen werden können,

oder alternativ

- einer Probenhalterung (Hersteller Haux Support) für Kerne bis zur Größe $d = 200$ mm und $l = 300$ mm, die Manteldrucke bis 100 bar erlaubt,
- und einem Durchflußmesser nach dem Seifenblasenprinzip für Durchflußmengen von 0,2 bis 100 cm³.

Vereinbarungsgemäß wurde zunächst unter Standard-Laborbedingungen, d. h. bei einem Manteldruck von 20 bar gemessen. Die hierbei ermittelten Werte zeigten jedoch bei einem großen Teil der Proben (Tonsteinen, Tonmergelsteinen und teilweise auch Mergelsteinen), daß die Permeabilität durch Ribbildung wesentlich zu hoch und für die Proben untypisch war.

Aus diesem Grunde wurden alle Proben, bei denen der Verdacht auf Ribbildung nahe lag, der aufwendigen Messung unter gebirgsähnlichen Druckverhältnissen unterzogen. Die jeweilige Meßart ist in der Probenbeschreibung angegeben.

Als Versuchsbedingungen wurden dabei die Werte

$$\begin{aligned} \text{lithostatischer Druck} &= \text{Teufe} \times 0,25 \\ \text{hydrostatischer Druck} &= \text{Teufe} \times 0,1 \\ \text{effektiver Druck} &= \text{Teufe} \times 0,15 \end{aligned}$$

angenommen.

Die Proben wurden, um Neuverformung durch übermäßigen Druck zu vermeiden, bei einem maximalen Fließdruck p_1 am Probeneintritt entsprechend dem hydrostatischen Druck gemessen. Der Manteldruck wurde mit der Summe von Fließdruck und Effektivdruck, d. h. maximal mit dem lithostatischen Druck festgelegt. Um nicht nach jeder Fließ-

druckänderung den Manteldruck erhöhen zu müssen, was zu einer Verformung der Probe geführt hätte, wurden die Fließdruckstufen bei Beginn der Messung festgelegt und der Manteldruck P_M nach der Faustregel

$$P_M = \overline{P_1} + \text{Teufe} \times 0,15$$

mit $P_M <$ lithostatischer Druck

$\overline{P_1} >$ hydrostatischer Druck

eingestellt.

Wie in der Einleitung erwähnt, ist diese Simulation gebirgsähnlicher Druckverhältnisse kritisch, sie erwies sich nach den anfangs gemachten Erfahrungen jedoch als die einzige Möglichkeit, die Porenpermeabilität der tonhaltigen Proben zu ermitteln.

Da noch keine ausreichenden Erfahrungswerte über das Verhalten von trockenen, tonigen Proben bei Belastung mit Druck vorliegen, muß dieses Meßverhalten vorläufig als das zuverlässigste angesehen werden. Trotzdem sind Abweichungen von im Gebirge ermittelten Permeabilitäten nicht nur möglich, sondern sogar sehr wahrscheinlich. In jedem Fall erlaubt dieses Verfahren eine weitaus bessere Differenzierung zwischen niedrig-permeablen Proben, da bei den oben erwähnten Standardbedingungen keine KLINKENBERG-Korrektur unterhalb von 10^{-2} mD und keine weitere Differenzierung unter 10^{-3} mD möglich ist (Durchfluß zu gering).

Mit dem hier angewendeten Meßverfahren ist eine brauchbare KLINKENBERG-Korrektur bis zu Permeabilitäten von 10^{-5} mD und eine Abschätzung der Permeabilität bis zu 10^{-6} mD möglich. Unterhalb dieser Werte ist in der Probenbeschreibung ein Vermerk zu finden.

Die Berechnung der Luftpermeabilität erfolgte nach dem Gesetz von d'ARCY:

$$K = \frac{1000 \cdot 4 \cdot \eta \cdot l}{\mu \cdot d^2} \cdot \frac{Q/t \cdot P_L}{(P_L + \Delta P) \cdot \Delta P}$$

mit

- K : Luftpermeabilität (mD)
 η : Viskosität des Fließmediums (cP)
hier: Luft (20°C): 0,01799 cP
l : Probenlänge (cm)
d : Probendurchmesser (cm)
Q : Durchflußmenge (cm³)
t : Durchflußmeßzeit (sec)
 P_L : atmosphärischer Luftdruck (bar)
entsprechend dem Druck an der Probenauslaßseite (P_2)
 ΔP : Differenzdruck (bar) $P_1 - P_2$

Die Messung erfolgte je nach Permeabilität der Probe bei 3 bis 7 verschiedenen Differenzdrücken. Mit den hierbei ermittelten unterschiedlichen Permeabilitäten wurde eine graphische KLINKENBERG-Korrektur durchgeführt, in dem in einem Diagramm die Luftpermeabilität (y-Achse) gegen den mittleren Porendruck ($P_1 + P_2 / 2$) aufgetragen und die Meßwerte mit einer Geraden verbunden wurden. Der Durchstoßpunkt der Geraden durch die y-Achse ist als K_∞ oder KLINKENBERG-korrigierte Permeabilität angegeben.

Die Steigung der Geraden (=KLINKENBERG-Konstante) lag je nach Permeabilität zwischen 0,2 und ca. 20. Da bisher noch viel zu wenig Vergleichswerte von Tonsteinen aus der Literatur bekannt sind, wurde zusätzlich zu der so ermittelten Permeabilität bei einigen Proben eine zweite Permeabilität berechnet, für die die von MIESSNER veröffentlichten KLINKENBERG-Konstanten angenommen wurden. Hierdurch erhöht sich die Permeabilität der undurchlässigsten Proben bis maximal um den Faktor 2. Bis zum Vorliegen einer ausreichenden Anzahl von Meßdaten muß jeweils die höhere Permeabilität als wahrscheinlich angenommen werden.

Bestimmung des Karbonat- und C_{org}-Gehaltes

Die Bestimmung dieser Anteile erfolgte im Coulomat 701 der Firma STRÖHLEIN Labortechnik.

Zunächst wurden jeweils 50mg der getrockneten Probensubstanz im Heizofen unter Sauerstoff verglüht (900°C). Hierbei verbrennt der gesamte Kohlenstoff zu CO₂. Die sich ebenfalls gebildeten Schwefeldioxide und Halogene, die das Analyseergebnis beeinflussen, werden durch Chemisorption in einem mit Silberwolle beladenen Ofen bei einer Temperatur von 500°C entfernt.

Am Ausgang der Ofenkombination befindet sich eine Wasserfalle, die den Wasserdampf kondensiert.

Mit Hilfe des Sauerstoffträgergasstromes wird das Verbrennungsgas CO₂ von einer Förder- und Dosierpumpe in ein mit basischer Bariumperchloratlösung gefülltes Gefäß gefördert und dort adsorbiert, wodurch die Alkalität der Lösung sinkt. Durch elektrolytisch erzeugtes Bariumhydroxid wird automatisch auf den pH-Ausgangswert zurücktitriert. Ein mehrstelliger elektronischer Zähler summiert die zur Rücktitration verbrauchte Elektrizitätsmenge. Diese wird an einer sechsstelligen Anzeige digital abgelesen. Sie ist aufgrund der Faraday'schen Gesetze eine absolute Meßgröße für den Kohlenstoffgehalt der Probe. Ein Zählerimpuls entspricht dabei 2×10^{-7} g Kohlenstoff.

Ein Zeitglied gewährleistet einen gleichmäßigen Arbeitsrhythmus und eine eindeutige Berücksichtigung des Blindwertanteils.

Es ist möglich, 0,5 mg/l bis in die höchsten Konzentrationen Kohlenstoff zu bestimmen. Die Genauigkeit des Gerätes wird vor jeder Meßreihe mit Standardproben überprüft. Vor jeder Meßreihe (5 Proben) findet eine Blindmessung statt.

Die so bestimmte Kohlenstoffmenge entspricht dem C-Gesamtgehalt.

Um den Anteil an C_{org} zu bestimmen, wurden aus Gründen der Genauigkeit die Karbonate chemisch entfernt und nicht - wie von STRÖHLEIN vorgeschlagen - durch Vorheizen ermittelt.

Weitere 50 mg der Probe wurden mit konzentrierter HCl bei über 120°C mehrfach behandelt, um durch CO_2 -Entwicklung den karbonatischen Kohlenstoff zu vertreiben. Eine erneute Analyse im Coulomaten ergibt den C_{org} -Anteil. Durch Abzug dieses Anteiles vom C_{gesamt} -Gehalt und Multiplikation mit den Atomgewichten ergibt sich der CO_3 - Gehalt.

Für jede Probe wurde die Messung dreimal wiederholt.

Bei anfänglichen Versuchen mit einer Karbonatentfernung durch 10 prozentige Salzsäure blieben Restkarbonate in der Probe, die das $C_{\text{org}}/C_{\text{karb}}$ -Verhältnis verfälschten. Wir danken Herrn RÖSCH /BGR nochmals für den Hinweis auf diese Fehlerquelle. Alle Messungen wurden nach der oben beschriebenen Methode wiederholt.

Rasterelektronenmikroskopie (REM)

Bei dem REM der Abteilung für Erdölgeologie handelt es sich um ein Leitz-ISI Super III a. An dieses Gerät sind ein BSD-Halbleiter-Ringdetektor sowie über einen PGT - Röntgendetektor ein EDX-Gerät, Marke Nuclear Data ND 60, zur energiedispersiven Röntgenspektralanalytik (EDX) gekoppelt. Vom EDX-Gerät ist eine Schreiberausgabe auf einen Commodore-Drucker möglich.

Das EDX-Gerät diente zur Identifizierung der im REM-Bild sichtbaren Minerale (qualitative Auswertung), nicht aber zur quantitativen Analytik. In vielen Fällen wurde daher auf eine mineralogische Beschreibung verzichtet, um Fehlinterpretationen zu vermeiden.

Die Vorbereitung der Proben erfolgte analog zu den Prüfkörpern für Permeabilitäts- und Porositätsmessungen, weil in erster Linie mit den REM-Untersuchungen der Probenzustand dokumentiert werden sollte. Vorwiegend auf Grund dieser Untersuchungen fiel die Entscheidung, die Permeabilitätsmessungen unter gebirgsähnlichen Druckverhältnissen durchzuführen, weil zu viele Proben präparative Auflockerungserscheinungen erkennen ließen.

Leider bedingte die Präparation, daß die REM-Untersuchungen nur wenig Aufschluß über die diagenetische Entwicklung des Porenraumes erbrachten. Hierzu wäre eine vollständige Reinigung der Proben von Salzurückständen notwendig gewesen, die REM-Untersuchungen hätten dann aber keine Rückschlüsse auf den Probenzustand bei der Permeabilitätsmessung erlaubt.

In einigen Fällen wurde dennoch versucht, soweit es die Probe ermöglichte, die Porenstruktur zu beschreiben.

Diese Beschreibungen sind mangels RDA-Analytik, Dünnschliffen und Vitrinitreflexion ausdrücklich als Interpretationsversuch zu bewerten. Insbesondere genetische Rückschlüsse auf die Entstehung des Porenraumes sind bei Mergeln und Tonsteinen sehr gewagt, weil die Erfahrungen auf diesem Gebiet gering sind.

So mußte z. B. für die Porenraumbeschreibung die Karbonatklassifizierung von CHOQUETTE & PRAY sowie die Sandsteinbeschreibung von SCHMIDT, McDONALD & PLATT verwendet werden.

Beide Beschreibungen befinden sich zum Vergleich mit den Bildern auf einer Ausklappseite im Anhang. Die Porenraumansprache in Kurzform fand ebenfalls nach der, von CHOQUETTE & PRAY entwickelten Methode statt. Sie setzt sich aus einer Buchstabenfolge zusammen, die in folgender Reihenfolge Informationen zum Porenraum gibt:

- Ursache der Porenentwicklung (Lösung, Zementation)
- Wirkung (erweitert, verkleinert)
- Zeit der Porenentstehung (primär, sekundär) mit den genaueren Einstufungen (prä-, syn-, eo-, meso-, telo-)
- Größe der Poren (mega-, meso-, mikro-)
- Porentyp

Auf die Verwendung folgender Begriffe wurde verzichtet, weil sie entweder im REM nicht sicher identifizierbar oder über ihre Ausbildung in Tonen zu wenig bekannt ist:

fenestral, growth-framework, boring, burrow, filled

Hierzu ist anzumerken, daß in vielen Fällen fenesterartig (fenestral) angeordnete Poren in den Tonen zu sehen waren, die aber von der Größe her nicht mit demselben Porentyp in Karbonatgesteinen zu vergleichen sind. Hier wurde auf die allgemeine Beschreibung „interpartikulär“ zurückgegriffen.

Um innerhalb der Größe differenzieren zu können, wurden die von CHOQUETTE & PRAY vorgeschlagenen Begriffe modifiziert angewendet. In den vorliegenden Untersuchungen bedeutet :

- mc (Mikropore)	Durchmesser	kl. 2 μm
- sms (kleine Mesopore)		2 - 20 μm
- lms (große Mesopore)		20 - 63 μm
- smg (kleine Megapore)		63 - 125 μm
- lmg (große Megapore)		gr. 125 μm

Die Bezeichnung „intrakristallin“, die bei CHOQUETTE & PRAY nicht zu finden ist, wurde nur angewendet, wenn sich innerhalb eines Kristalles Poren zeigten und die Form des Kristalles andeutete, daß es durch die Präparation aufgebrochen war (Schnittfläche freigelegt).

Die Untersuchungen an den Proben wurden in jedem Fall mit einer Abbildung je Probe dokumentiert. Leider weist ein Teil der

Abbildungen nicht die wünschenswerte Qualität auf, weil im Laufe der Untersuchungen durch einen Defekt am REM (Öl aus der Diffusionspumpe zieht in die Probenkammer) die Auflösung zurückging. In jedem Fall reicht aber die Auflösung zur Beurteilung des Probenzustandes aus.

Von sekundärer Porosität wurde in diesem Bericht nur gesprochen, wenn mindestens zwei der acht Kennzeichen von SCHMIDT zutrafen. In der Regel handelte es sich bei einem dieser Kennzeichen um übergroße (oversized) Poren. Dieser Begriff trat dann zu, wenn die Probenstruktur auch gegenüber einer Koagulationsedimentation zu große Poren zeigte. Es wird nicht ausgesagt, ob diese Porosität an die Tone selber gebunden ist oder organogene bzw. karbonatische Anteile der Probe.

Literaturverzeichnis

- CHOQUETTE & PRAY in: SCHOLLE: Carbonate rock constituents, textures, cements and porosities, AAPG Memoir, 27, Tulsa 1978
-  Skript zum Unteruniversitäten Kurs Diagenese klastischer Sedimente, München 1985
- MÜLLER, G.: Methoden der Sedimentuntersuchung, Teil 1, Stuttgart 1964
- SCHMID, C.: Ringversuche zur Überprüfung der Zuverlässigkeit von Porositäts- und Permeabilitätsmessungen an Gesteinsproben, Erdöl und Kohle, 6, S. 442 - 446, Hamburg 1953
- SCHMIDT, McDONALD & PLATT in: SCHOLLE: Constituents, textures, cements and porosities of sandstones and associated rocks, AAPG Memoir, 28, Tulsa 1979
- WELTON, J. E.: SEM petrology atlas, AAPG methods in exploration series, Tulsa 1984

BOHRUNG K 101

Probe: 1 d Kern

Teufe: von 113,22 bis 113,39 m

Stratigraphie: Oberkreide, Mittelturon

Karbonatgehalt [% CO_3^{2-}] 55.5

C_{org} -Gehalt [%] < 0.1

Porosität(effektiv) [%] \emptyset 14.7

Bulkdichte [g/cm^3] 2.31

scheinb. Korndichte [g/cm^3] 2.70

Luftpermeabilität [mD] 2.3×10^{-2}

Porenraum:

Die Porosität setzt sich hauptsächlich aus interkristallinen "Zwickel"-Poren zusammen. Alle vier untersuchten Prüfkörper zeigten die gleiche Porosität (Abweichung max. 0.5 % absolut). Es waren keine Anzeichen für präparative Veränderungen zu sehen.

Bemerkungen:

Permeabilität bei gebirgsähnlichem Manteldruck gemessen. Unter Laborbedingungen betrug die Permeabilität 4.3×10^{-2} mD. Es ist somit keine Rißbildung zu verzeichnen.

PORENRAUMBESCHREIBUNG

PROBE: 1 d Kern

BOHRUNG: K 101

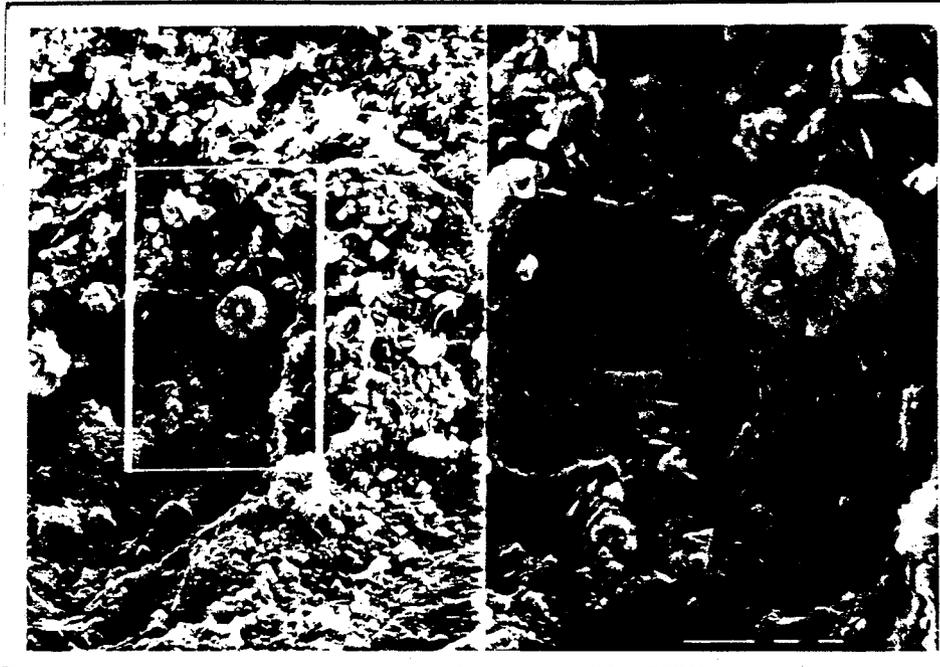


Abbildung Nr: 2

Vergrößerung: 500/1500 x (Negativ)

Beschreibung der Abbildung:

Der Kalkstein zeigt neben Poren der Größe 2 - 5 μm vereinzelt größere Poren in Zwickeln, wie z. B. in der oberen Hälfte des linken Bildes im Schutz eines Fossilrestes.

Der kalzitische Zement der Probe ist relativ ungleichmäßig ausgebildet: Neben größeren Kalzitkristallen ($\geq 10 \mu\text{m}$) im Bild rechts (Mitte) liegen jüngere, kleinere Kristalle (1 μm) vor.

Porenraumklassifizierung:

ca. 60 % c r Pd mc BC

ca. 20 % Pd sms SH

ca. 20 % c r Pd sms BC

BOHRUNG K 101

Probe: 2 d Kern

Teufe: von 203,46 bis 203,66 m

Stratigraphie: Oberkreide, Mittelcenoman

Karbonatgehalt [% CO₃²⁻] 50.8

C_{org}-Gehalt [%] < 0.1

Porosität(effektiv)[%] ∅ 8.1

Bulkdichte[g/cm³] 2.46

scheinb. Korndichte[g/cm³] 2.67

Luftpermeabilität [mD] 1.8 x 10⁻⁴

Porenraum:

Die Porosität der Probe besteht aus Zwickelporen zwischen den Kalziten. Die Größe der Poren ist gegenüber den darüberliegenden Proben nicht verändert, ihre Häufigkeit nimmt aber ab. Die Porositätswerte der Prüfkörper zeigten nur geringe Abweichungen vom Mittelwert (± 0.7 % absolut).

Bemerkungen:

Permeabilität unter gebirgsähnlichen Druckverhältnissen gemessen. Abgesehen von einer Probe, in der sich Styolithen befanden, deuten die Permeabilitätswerte keine Ribbildung an.

PORENRAUMBESCHREIBUNG

PROBE: 2 d Kern

BOHRUNG: K 101

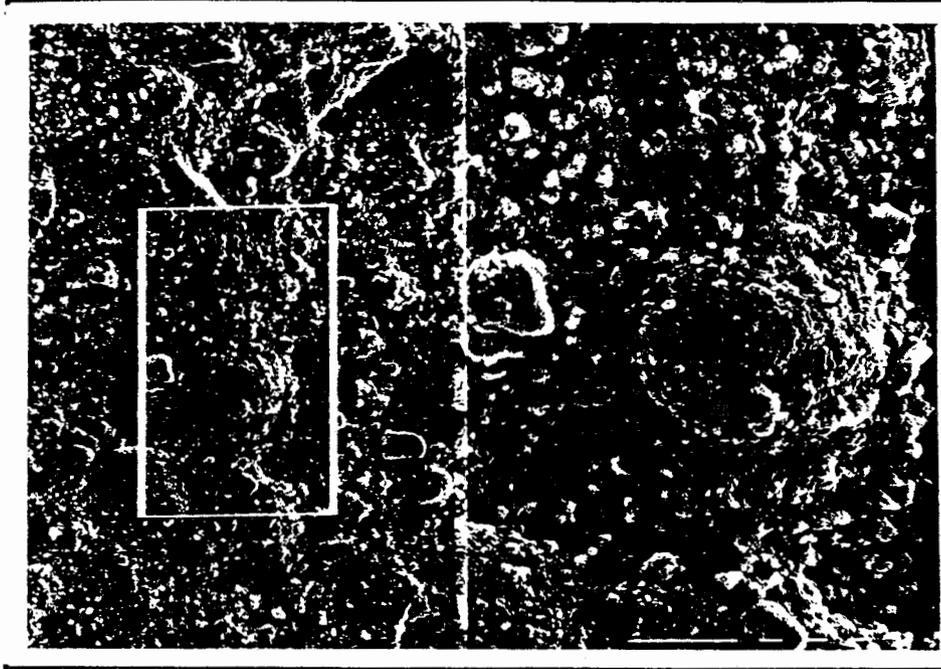


Abbildung Nr: 3

Vergrößerung: 80/240 x (Negativ)

Beschreibung der Abbildung:

Der Kalkstein weist neben einer einheitlichen Korngröße von ca. 4 - 10 μm auch einheitliche Porendurchmesser von 2 - 6 μm auf. Im Bild ist die gleichmäßige Probenstruktur gut erkennbar. Bei dem kugelförmigen Aggregat in der Bildmitte handelt es sich um eine Calcisphere (überwachsen mit Kalzitzement).

Porenraumklassifizierung:

100 % Pd sms BC

BOHRUNG K 101

Probe: 3 d Kern

Teufe: von 308,98 bis 309,08 m

Stratigraphie: Unterkreide, Oberalb

Karbonatgehalt [% CO_3^{2-}] 12.1

C_{org} -Gehalt [%] 0.4

Porosität(effektiv) [%] \emptyset 18.1

Bulkdichte [g/cm^3] 2.18

scheinb. Korndichte [g/cm^3] 2.66

Luftpermeabilität [mD] 4.4×10^{-2}

Porenraum:

Unter einer Salzkruste lagen nur wenige Abschnitte frei, in denen Tonporen zu sehen sind. Eine genaue Einstufung ist nicht möglich. Die Porosität der Einzelprüfkörper wich maximal 1 % vom Mittelwert ab.

Bemerkungen:

Die Permeabilität wurde unter Laborbedingungen ermittelt.

PORENRAUMBESCHREIBUNG

PROBE: 3 d Kern

BOHRUNG: K 101

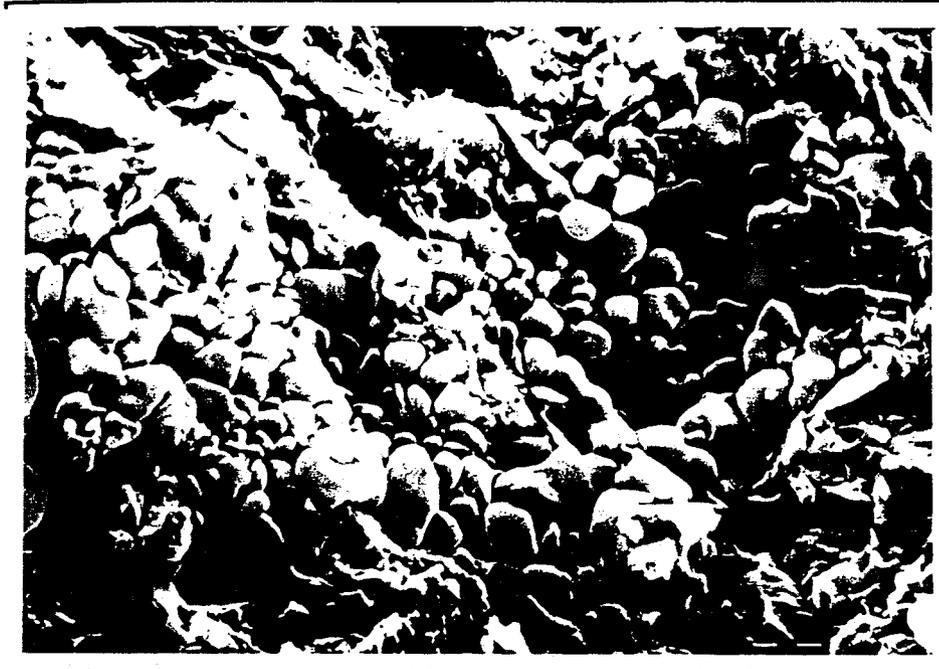


Abbildung Nr: 4

Vergrößerung: 1500 x (Negativ)

Beschreibung der Abbildung:

Die Probe ist in diesem Abschnitt weitgehend von Salzkrusten überzogen. In der Mitte oben liegt ein toniger Abschnitt frei und zeigt ähnliche Poren wie auf dem vorhergehenden Bild.

Porenraumklassifizierung:

x P sms BP

Pd mc BP

BOHRUNG K 101

Probe: 4 d Kern

Teufe: von 420.00 bis 420.13 m

Stratigraphie: Unterkreide, Unteralb

Karbonatgehalt [% CO_3^{2-}] < 0.1

C_{org} -Gehalt [%] 0.6

Porosität(effektiv) [%] \emptyset 20.3

Bulkdichte [g/cm^3] 2.15

scheinb. Korndichte [g/cm^3] 2.65

Luftpermeabilität [mD] 9.5×10^{-4}

Porenraum:

Die Porosität besteht aus Tonporen und ist daher für die Permeabilität nur wenig nutzbar. Die Messungen der Einzelproben wichen nicht voneinander ab.

Bemerkungen:

Permeabilität unter simulierten Gebirgsbedingungen gemessen.

PORENRAUMBESCHREIBUNG

PROBE: 4 d Kern

BOHRUNG: K 101

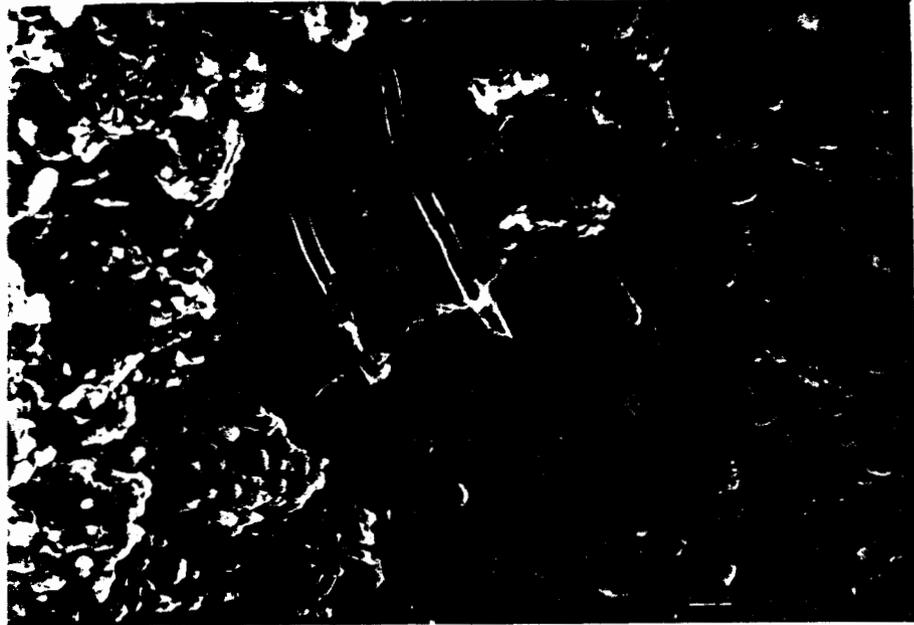


Abbildung Nr: 5

Vergrößerung: 350 x (Negativ)

Beschreibung der Abbildung:

Fossilrest unter der Salzkruste.

Porenraumklassifizierung:

PORENRAUMBESCHREIBUNG

PROBE: 4 d Kern

BOHRUNG: K 101



Abbildung Nr: 6

Vergrößerung: 200 x (Negativ)

Beschreibung der Abbildung:

Die karbonatische Matrix enthält Porosität in offenen Zwickeln. Der Porendurchmesser variiert zwischen $< 1 \mu\text{m}$ und $5 \mu\text{m}$. Es ist zu vermuten, daß ein größerer Anteil aus Sack- oder Totporen besteht.

Zwischen den Kalziten sind gelegentlich Tonhäutchen zu sehen (z. B. r. u.).

Porenraumklassifizierung:

c r Pd sms BP

BOHRUNG K 101

Probe: 5 d Kern

Teufe: von 458.18 bis 458.29 m

Stratigraphie: Unterkreide, Unteralb, Hilssandstein

Karbonatgehalt [% CO_3^{2-}] 1.1

C_{org} -Gehalt [%] < 0.1

Porosität (effektiv) [%] 34.1

Bulkdichte [g/cm³] 1.75

scheinb. Korndichte [g/cm³] 2.65

Luftpermeabilität [mD] 1400

Porenraum:

Der Porenraum ist im REM nur unvollständig beschreibbar, weil die Größe der Einzelporen selbst bei 20 facher Vergrößerung keine Übersicht ermöglicht.

Die Porositätswerte der Einzelproben wichen nur um 0.4 % vom Mittelwert ab, jedoch kann dieser Mittelwert verfahrensbedingt unter der tatsächlichen Porosität der Probe liegen (Verlust von Flüssigkeit vor der Naßwiegung).

Bemerkungen:

Die Permeabilität wurde unter Laborbedingungen gemessen. Sie erscheint gegenüber der Porosität sehr niedrig, daher wurde an dieser Probe zur Kontrolle die spez. Oberfläche bestimmt (12 m²/g). Der Glaukonit und eventuell Spülungsrückstände scheinen daher für die niedrige Permeabilität verantwortlich zu sein.

PORENRAUMBESCHREIBUNG

PROBE: 5 d Kern

BOHRUNG: K 101



Abbildung Nr: 7

Vergrößerung: 100 x (Negativ)

Beschreibung der Abbildung:

Die Probe besitzt so gut wie keinen Zement. Bei den Poren handelt es sich daher um fast unveränderte, primäre Porosität.

Bei den wabenartigen Überzügen auf den Körnern handelt es sich vermutlich um Rückstände aus der Spülung.

Porenraumklassifizierung:

100 % Pd lmg BP

BOHRUNG K 101

Probe: 6 d Kern

Teufe: von 571,40 bis 571,50 m

Stratigraphie: Unterkreide, Oberhaueterive

Karbonatgehalt [% CO_3^{2-}] 12.4

C_{org} -Gehalt [%] 1.0

Porosität(effektiv) [%] 14.8

Bulkdichte [g/cm^3] 2.29

scheinb. Korndichte [g/cm^3] 2.69

Luftpermeabilität [mD] $< 1 \times 10^{-2}$

Porenraum:

Weite Teile der Probe sind mit Salz überzogen. Der Porenraum besteht, soweit sichtbar, aus Tonporen in Zwickeln. Die Schichtung verläuft unruhig.

Bemerkungen:

Permeabilität unter Laborbedingungen gemessen. Während der Nachmessung unter gebirgsähnlichem Druck zerbrach der Prüfkörper.

PORENRAUMBESCHREIBUNG

PROBE: 6 d Kern

BOHRUNG: K 101

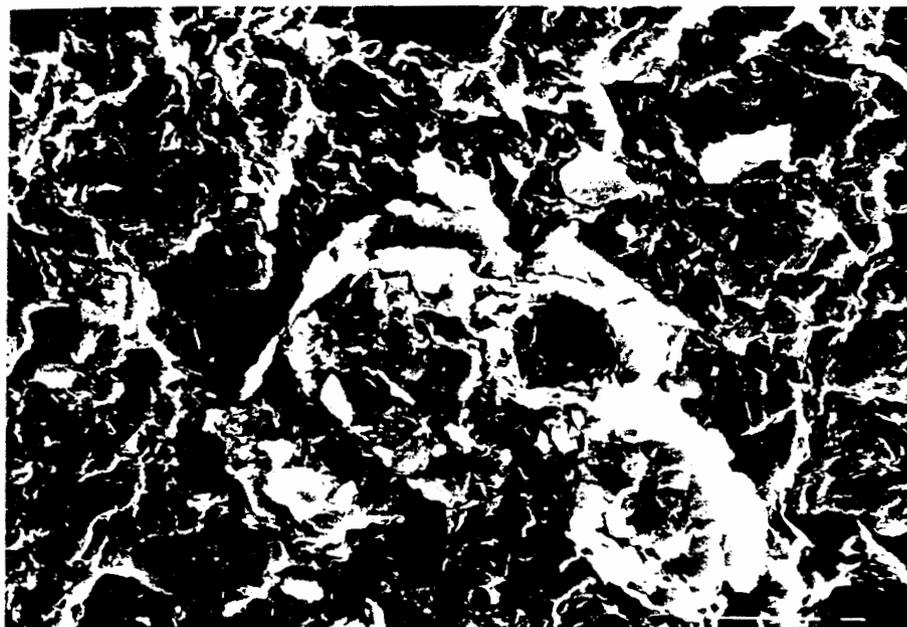


Abbildung Nr: 8

Vergrößerung: 500 x (Negativ)

Beschreibung der Abbildung:

Die Poren in der tonig-karbonatischen Matrix besitzen einen relativ einheitlichen Porendurchmesser von ca. 5 μm . Stellenweise handelt es sich um intrakristalline Poren im Karbonat, von denen ein großer Teil Anlösungsformen besitzt.

Porenraumklassifizierung:

70 % c r Pd sms BP

30 % s x Pd sms BP/intrakristallin

PORENRAUMBESCHREIBUNG

PROBE: 6 d Kern

BOHRUNG: K 101



Abbildung Nr: 9

Vergrößerung: 1000 x (Negativ)

Beschreibung der Abbildung:

Poreneintritt unter der Salzkruste

Die langgestreckte Form weist auf schichtparallele
Auflockerung vor dem Trocknen der Probe hin.

Porenraumklassifizierung:

BOHRUNG K 101

Probe: 7 d Kern

Teufe: von 903,10 bis 903,20 m

Stratigraphie: Dogger, Unterbathonium

Karbonatgehalt [% CO ₃ ²⁻]	18.3
C _{org} -Gehalt [%]	0.3
Porosität(effektiv)[%]	∅ 5.5
Bulkdichte[g/cm ³]	2.54
scheinb. Korndichte[g/cm ³]	2.69
Luftpermeabilität [mD]	7 x 10 ⁻⁵

Porenraum:

Die Probe ist von einer Salzkruste bedeckt. Obwohl Risse in der Kruste auf präparative Auflockerung hinweisen, weicht die gemessene Porosität der Einzelproben nur um 0.3 % (absolut) vom Mittelwert ab.

Bemerkungen:

Permeabilität unter simulierten Gebirgsbedingungen gemessen.

PORENRAUMBESCHREIBUNG

PROBE: 7 d Kern

BOHRUNG: K 101

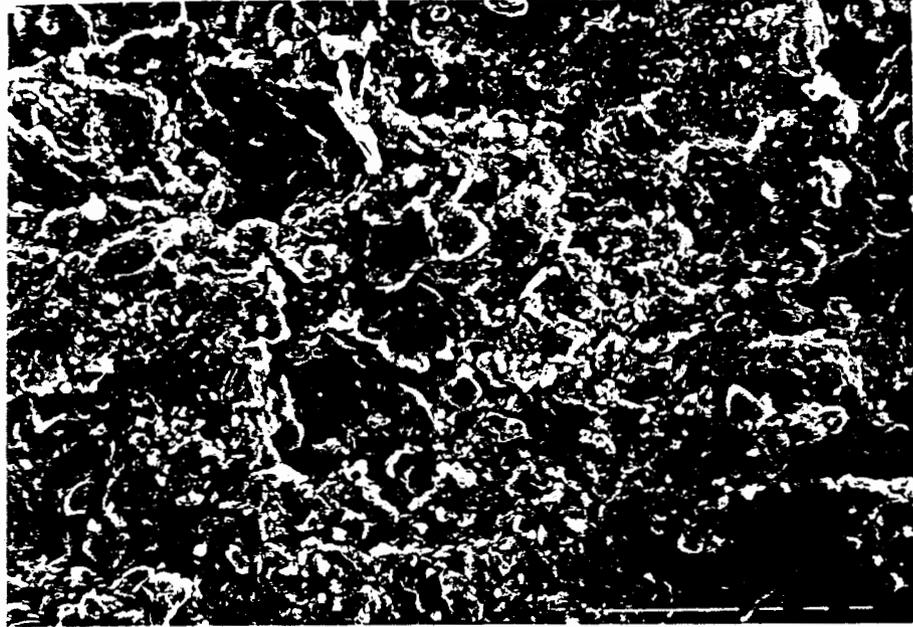


Abbildung Nr: 10

Vergrößerung: 100 x (Negativ)

Beschreibung der Abbildung:

Unter der Salzkruste ist stellenweise Karbonat zu sehen. Die Risse in der Salzkruste zeigen an, daß die Probe präparativ aufgelockert ist.

Porenraumklassifizierung:

BOHRUNG K 101

Probe: 7 d 2 Kern

Teufe: von 903,77 bis 903,93 m

Stratigraphie: Dogger, Unterbathonium

Karbonatgehalt [% CO_3^{2-}] 6.0

C_{org} -Gehalt [%] 0.6

Porosität (effektiv) [%] \emptyset 9.9

Bulkdichte [g/cm^3] 2.39

scheinb. Korndichte [g/cm^3] 2.65

Luftpermeabilität [mD] 4×10^{-5}

Porenraum:

Die Probe ist durch Risse aufgelockert (Streuung in den Einzelwerten für die Porosität bis zu ± 1.5 %).

Bemerkungen:

Permeabilität unter simulierten Gebirgsbedingungen gemessen.

PORENRAUMBESCHREIBUNG

PROBE: 7 d 2 Kern

BOHRUNG: K 101

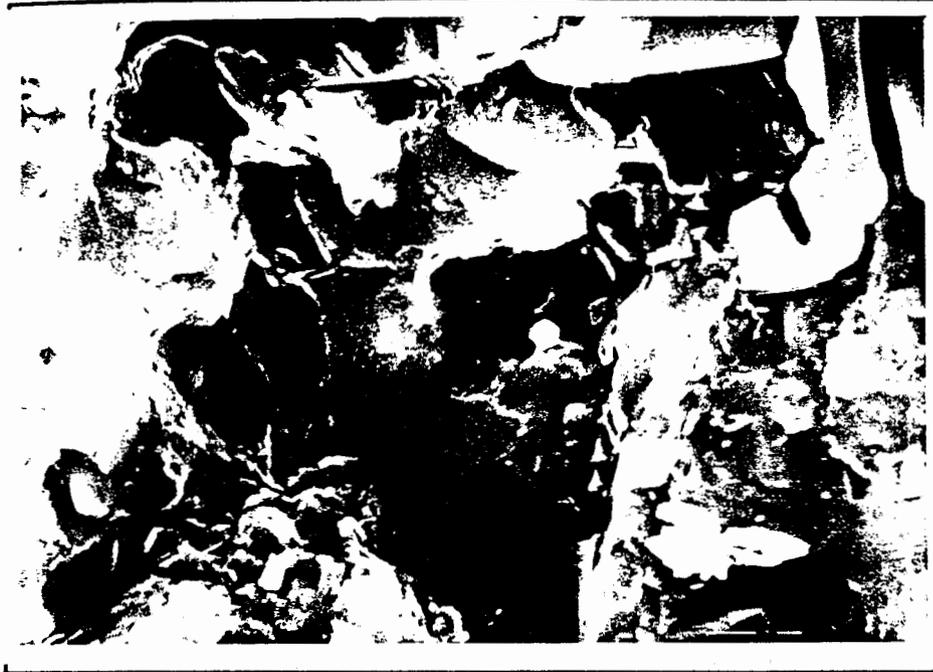


Abbildung Nr: 11

Vergrößerung: 1800 x (Negativ)

Beschreibung der Abbildung:

Sekundäre Porosität in Karbonaten.

L. o. kann ein durch Präparation entstandener Riß vorliegen.

Porenraumklassifizierung:

s x Sm sms BC

BOHRUNG K 101

Probe: 7 d 3 Kern

Teufe: von 905,64 bis 905,74 m

Stratigraphie: Dogger, Unterbathonium

Karbonatgehalt [% CO_3^{2-}] 15.7

C_{org} -Gehalt [%] 0.4

Porosität(effektiv) [%] 6.6

Bulkdichte [g/cm^3] 2.59

scheinb. Korndichte [g/cm^3] 2.77

Luftpermeabilität [mD] 3×10^{-5}

Porenraum:

Die Poren zeigen starke Einflüsse von Lösungs- und Zementationsprozessen. Der Anteil der Tot- und Sackporen in der kalzitischen Matrix scheint hoch zu sein.

Bemerkungen:

Permeabilität unter simulierten Gebirgsbedingungen gemessen.

PORENRAUMBESCHREIBUNG

PROBE: 7 d 3 Kern

BOHRUNG: K 101



Abbildung Nr: 12

Vergrößerung: 1250/3750 x (Negativ)

Beschreibung der Abbildung:

Karbonat mit deutlichen Anzeichen von sekundärer Porosität (Lösung).

Porenraumklassifizierung:

s x Sm mc BC und intrakristallin

BOHRUNG K 101

Probe:	8 d Kern	
Teufe:	von 892,88	bis 892,96 m
Stratigraphie:	Dogger, Unterbathonium	
Karbonatgehalt [% CO ₃ ²⁻]		29.7
C _{org} -Gehalt [%]		0.1
Porosität(effektiv) [%]	∅	1.9
Bulkdichte[g/cm ³]		2.70
scheinb. Korndichte[g/cm ³]		2.75
Luftpermeabilität [mD]		< 5 x 10 ⁻⁵

Porenraum:

Die sparitische Matrix enthält nur wenig Poren in Zwickeln. Es ist oft nicht erkennbar, ob es sich bei den "Vertiefungen" in der Probenoberfläche um Ausbruchstellen oder Poren handelt. Die Einzelproben zeigten nur geringe Schwankungen in der Porosität (± 0.3 % absolut).

Bemerkungen:

Permeabilität unter simulierten Gebirgsbedingungen gemessen.
Keine KLINKENBERG-Korrektur möglich.

PORENRAUMBESCHREIBUNG

PROBE: 8 d Kern

BOHRUNG: K 101



Abbildung Nr: 13

Vergrößerung: 300/3000 x (Negativ)

Beschreibung der Abbildung:

Pyrit in einer Pore

Übersicht mit Mesoporen von unbekannter Entstehung

Porenraumklassifizierung:

PORENRAUMBESCHREIBUNG

PROBE: 3 d Kern

BOHRUNG: K 101

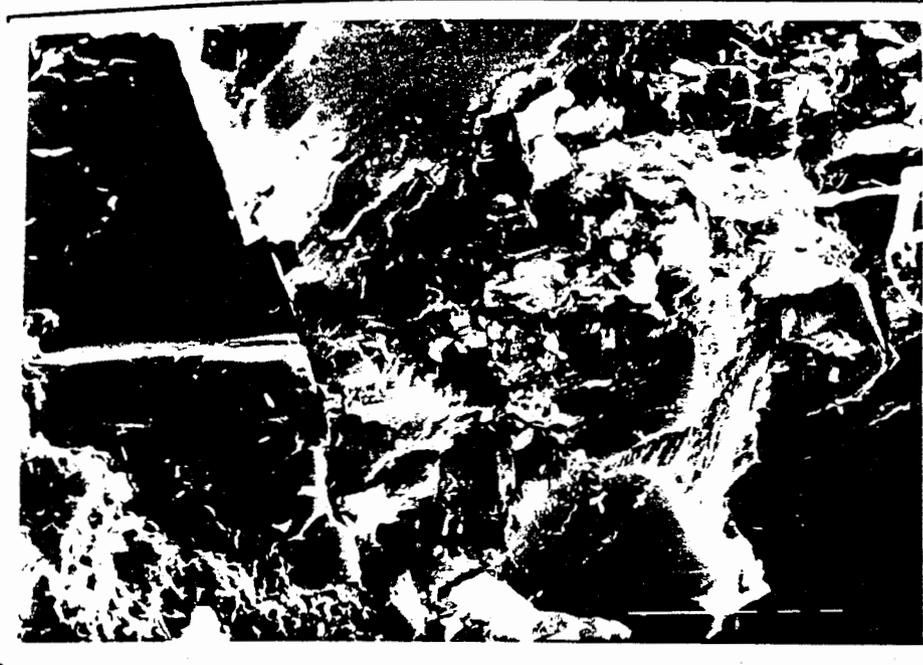


Abbildung Nr: 14

Vergrößerung: 1000 x (Negativ)

Beschreibung der Abbildung:

Kalzit mit Mikroporen, deren Entstehung nicht eindeutig feststellbar ist.

Porenraumklassifizierung:

BOHRUNG K 101

Probe: 9 d Kern

Teufe: von 936,33 bis 936,38 m

Stratigraphie: Dogger, Oberbajocium

Karbonatgehalt [% CO_3^{2-}] 15.1

C_{org} -Gehalt [%] 0.4

Porosität (effektiv) [%] 5.7

Bulkdichte [g/cm^3] 2.52

scheinb. Korndichte [g/cm^3] 2.67

Luftpermeabilität [mD] 3.7×10^{-5}

Porenraum:

Die Salzkruste verdeckt weite Teile der Probe, deren Porosität zu großen Teilen aus Tonporen besteht (im Karbonat konnte Porosität auf Grund der Salzkruste nicht beobachtet werden).

Es sind keine Anzeichen für Rißporosität vorhanden, obwohl der Kern makroskopisch Auflockerung zeigte.

Bemerkungen:

Permeabilität unter simulierten Gebirgsbedingungen gemessen.

PORENRAUMBESCHREIBUNG

PROBE: 9 d Kern

BOHRUNG: K 101

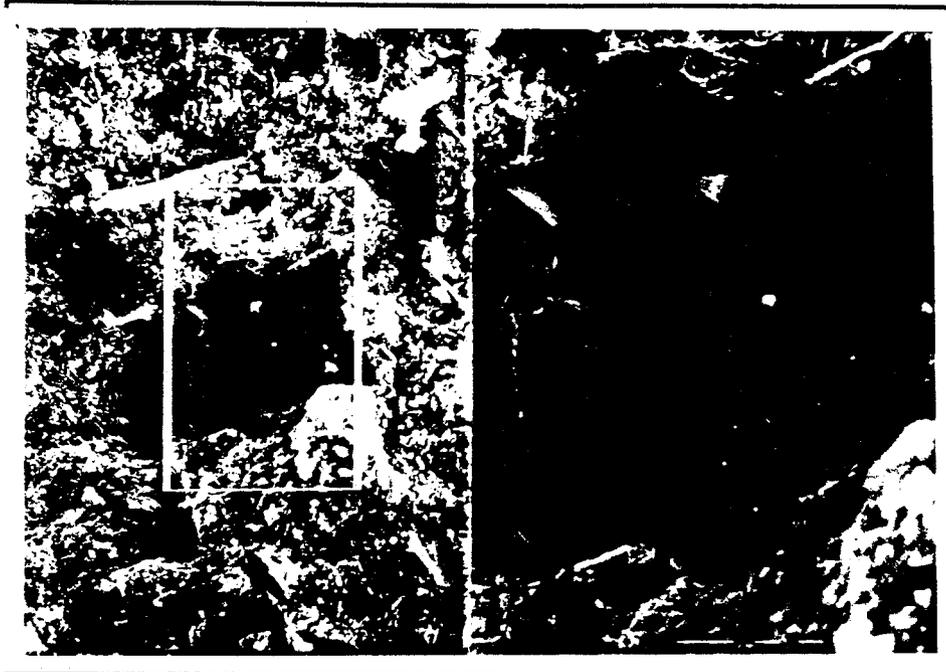


Abbildung Nr: 15

Vergrößerung: 400/1200 x (Negativ)

Beschreibung der Abbildung:

Die tonige Matrix ist von einer Salzkruste überzogen,
in der Bildmitte ist ein Karbonatkorn zu sehen.

Porenraumklassifizierung:

Schachtanlage Konrad

Probe: 3. Sohle Ort 300

Teufe: von	bis	
Stratigraphie: Kimmeridge		
Karbonatgehalt [% CO ₃ ²⁻]		50.8
C _{org} -Gehalt [%]		0.2
Porosität(effektiv)[%]		3.0
Bulkdichte[g/cm ³]		2.63
scheinb. Korndichte[g/cm ³]		2.73
Luftpermeabilität [mD]		< 1 x 10 ⁻⁵

Porenraum:

Sekundäre Porosität im Karbonat, die im Bild gezeigten Tonporen sind für die Probe nicht repräsentativ.

Bemerkungen:

Permeabilität unter simulierten Gebirgsbedingungen gemessen.

Keine KLINKENBERG-Korrektur möglich.

Die Beprobung des Kimmeridge sollte aus Termingründen vorgezogen werden, damit die an den Sorptionsuntersuchungen beteiligten Laboratorien vor Erreichen des Kimmeridge in der Bohrung mit den Untersuchungen beginnen konnten.

(Brief PTB an DBE, [REDACTED])

Die Probe wurde daher in der Schachtanlage genommen.

PORENRAUMBESCHREIBUNG

PROBE: 3. Sohle Ort 300
(Kimmeridge)

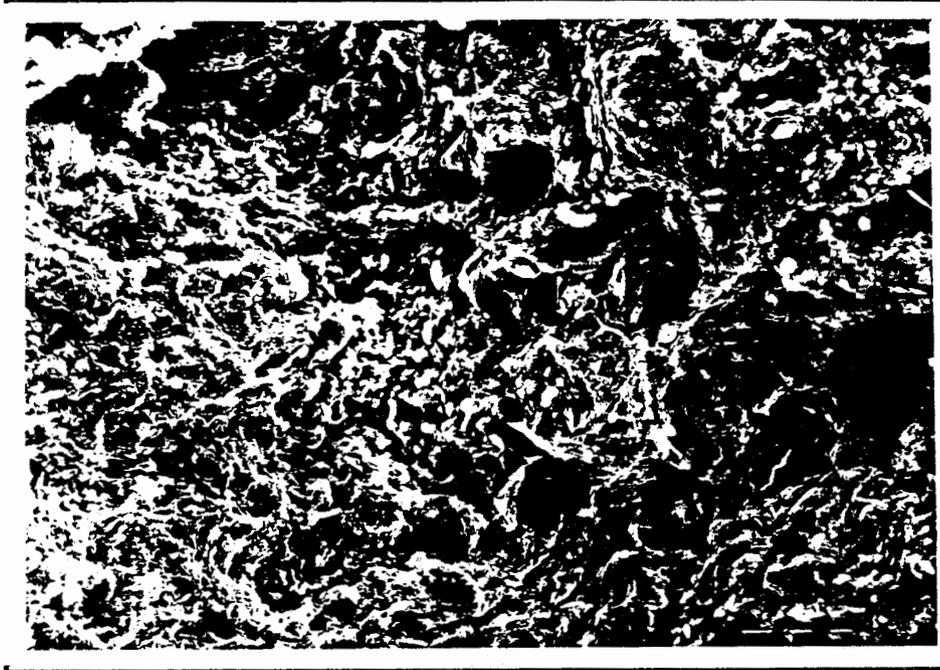


Abbildung Nr: 16

Vergrößerung: 1000 x (Negativ)

Beschreibung der Abbildung:

In einem tonigen Ausschnitt der Matrix (l. u.) liegen primäre Mikroporen vor. In den karbonatischen Teilen (Mitte bis rechts) nimmt der Porendurchmesser deutlich zu. Bei den großen Poren (o. und r.) ist nicht eindeutig feststellbar, ob es sich um Kornausbruch handelt.

Porenraumklassifizierung:

c r Pd mc BP (Tone)
Pd sms PB (Karbonat)

TEUFE	PROBENNUMMER	ABBILDUNG	CO ₃ -GEHALT	C _{ORG} -GEHALT
von/bis in m		Nr. / Seite	in %	in %

T U R O N

113.22/113.39	1 d Kern	2/21	55.5	< 0.1
---------------	----------	------	------	-------

C E N O M A N

203.46/203.66	2 d Kern	3/23	50.8	< 0.1
---------------	----------	------	------	-------

A L B

308.53/309.62	3 e Kern		12.1	0.4
308.98/309.08	3 d Kern	4/25	12.1	0.4
420.00/420.13	4 d Kern	5,6/27,28	< 0.1	0.6
420.13/420.21	4 e Kern		6.7	0.8
458.18/458.29	5 d Kern	7/30	1.1	< 0.1

H A U T E R I V E

571.40/571.50	6 d Kern	8,9/32,33	12.4	1.0
571.50/571.60	6 e Kern		8.2	0.8
613.05	5 e Kern		21.2	0.4

B A T H O N I U M

892.88/892.96	8 d Kern	13,14/41,42	29.7	0.1
	8 e Kern		30.9	0.1
903.10/903.20	7 d Kern	10/35	18.3	0.3
	7 e Kern		0.9	0.4

TEUFE	PROBENUMMER	ABBILDUNG	CO ₃ -GEHALT	C _{ORG} -GEHALT
von/bis in m		Nr. / Seite	in %	in %

903.77/903.93	7 d 2 Kern	11/37	6.0	0.6
	7 e 2 Kern		15.6	0.4
905.64/905.74	7 d 3 Kern	12/39	15.7	0.4
	7 e 3 Kern		15.6	0.4

B A J O C I U M

936.33/936.38	9 d Kern	15/44	15.1	0.4
	9 e Kern		7.3	0.6

K I M M E R I D G E

	3. Sohle	16/46	50.8	0.2
	Ort 300			

