



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

EU 181

9K

34522.32

HA

RB

0007 00

Titel der Unterlage:
 Ermittlung von Gesteinsparametern an der "Cornbrash" - Bohrung

Seite:
I.

Stand:
12.02.88

Ersteller:
 Technische Universität Clausthal-Zellerfeld

Textnummer:

Stempelfeld:

PSP-Element TP...9K/:21224

zu Plan-Kapitel: 3.1.10

PL


PL



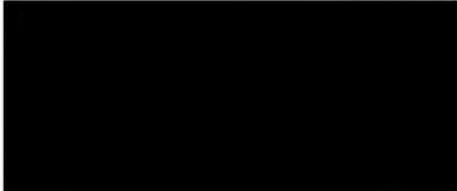
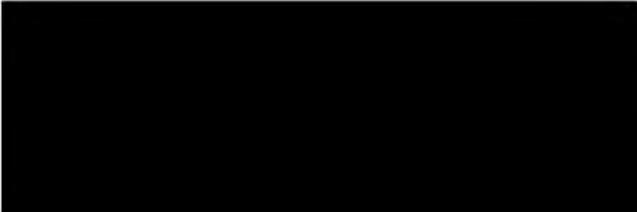

Technische Universität Clausthal



ERMITTLUNG VON GESTEINSPARAMETERN AN DER
"CORNBRAHSH" - BOHRUNG

(Bericht zum PTB-Auftrag 9 K, PSP-Nr. 34522.32)

Clausthal-Zellerfeld, den 12. Februar 1988



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
Auflistung der durchgeführten Arbeiten.....	Seite	3
Dünnschliffanalytik.....	Seite	4
Porositätsbestimmung.....	Seite	4
Permeabilitätsmessungen.....	Seite	4
Messung der spezifischen Oberfläche.....	Seite	5
Raster-Elektronen-Mikroskopie.....	Seite	5
Literaturverzeichnis.....	Seite	6
Untersuchungsergebnisse, zusammenhängend für jede Probe.....	Seite	7 bis 47
Übersicht über die petrophysikalischen Daten.....	Seite	48

Zusammenfassung

An 15 Kernproben aus der "Cornbrash"-Bohrung 3/150 wurden von der Abteilung für Erdölgeologie der TU Clausthal folgende petrographische und petrophysikalische Untersuchungen durchgeführt:

- Dünnschliffanalysen, Bezeichnung und Beschreibung des Gesteins mit einer semiquantitativen Angabe des Modalbestandes sowie der Korngröße und des Korngefüges mit einer fotografischen Reproduktion der Schlitze.
- Ermittlung der spezifischen Oberfläche nach DIN 66 132.
- Bestimmung der Effektivporosität und der Totporosität.
- Angabe der aus den Parametern berechneten Gesteinsdichte.
- Beurteilung des Porenraumes mit dem Raster-Elektronen-Mikroskop und entsprechender Fotodokumentation.
- Bestimmung der Permeabilität über die Luftdurchlässigkeit bei einem Manteldruck von 10 bar und Fließdruck bis zu 1 bar einschließlich nötiger Klinkenberg-Korrekturen. Aufgrund der Dichtheit des Gesteinsmaterials wurde es z. T. notwendig diese Messungen bei Manteldrücken bis zu 250 bar und maximalem Fließdruck von 9.25 bar durchzuführen.

Im Bericht werden die verwendeten Verfahren kurz beschrieben und die Ergebnisse zusammenhängend für jede Probe dokumentiert. Die petrophysikalischen Daten sind in einer tabellarischen Übersicht nochmals zusammengefaßt.

Einleitung

Im Rahmen der Untersuchungsprogramme um die Schachtanlage Konrad erhielt die Abteilung für Erdölgeologie den Auftrag, zu bisher von ihr bestimmten Gesteinsparametern aus der Bohrung K 101 und den Lagerbegrenzungsbohrungen ergänzende korrelierbare Informationen anhand der "Cornbrash"-Bohrung 3/150 zu ermitteln.

Die Auswahl der zu untersuchenden Gesteinsproben erfolgte im Kernlager der BGR nach Weisung und in Abstimmung mit den Herren [REDACTED] Stahlwerke Peine-Salzgitter, Dipl.-Geol. [REDACTED] BGR und Dipl.-Ing. [REDACTED] PTB. Die Abteilung für Erdölgeologie war mit den Herren [REDACTED] und [REDACTED] vertreten. Der Bearbeitungsumfang wurde von der BGR vorgegeben.

Auflistung der durchgeführten Arbeiten

Die Probennummern setzen sich zusammen aus: Bohrungsnummer und Entnahmetiefe (m)

Probennummer	Dünnschliff	Porosität	spezifische Oberfläche	R E M	Permeabilität
3/150 25.43 - 25.59	x	x	x	x	
3/150 27.60 - 27.72	x	x	x	x	x
3/150 28.12 - 28.27	x	x	x	x	x
3/150 29.53 - 29.68	x	x	x	x	x
3/150 31.78 - 31.91	x				
3/150 34.21 - 34.39	x	x	x	x	x
3/150 36.52 - 36.65	x				
3/150 38.96 - 39.10	x	x	x	x	x
3/150 41.17 - 41.32	x	x	x	x	x
3/150 43.15 - 43.26	x	x	x	x	x
3/150 45.04 - 45.20	x				
3/150 48.91 - 49.05	x				
3/150 54.15 - 54.28	x	x	x	x	x
3/150 55.66 - 55.77	x	x	x	x	x
3/150 58.02 - 58.15	x	x	x	x	x

Dünnschliffanalytik

Als Grundlage zur Klassifikation der Gesteinsdünnschliffe diente das Dreiecksdiagramm Sand-Ton-Karbonat von [REDACTED] (1955). Eine kompositionelle und strukturelle Karbonat-Klassifikation nach [REDACTED] war aufgrund des hohen Quarz- und Tonmineralgehaltes nicht sinnvoll.

Die Ansprache der karbonatischen Zementationserscheinungen orientieren sich an Arbeiten von [REDACTED] und [REDACTED] (1978). Eine Abschätzung der Häufigkeit der einzelnen Komponenten wurde nach Vergleichsbildern von [REDACTED] und [REDACTED] (aus [REDACTED] 1978) vorgenommen; zur Beschreibung der Quarzkornformen und Rundungsgrade dienten Hilfstabellen nach [REDACTED] (aus [REDACTED] et al. 1986).

Porositätsbestimmung

Die Bestimmung der Gesamtporosität erfolgt über die Ermittlung des effektiven Porenraumes und der Totporosität.

Die Effektivporosität wurde nach dem Tauch- bzw. Auftriebsverfahren nach [REDACTED] (1964) durchgeführt, das die größte Zuverlässigkeit auch bei niedrig permeablem Probenmaterial bietet. Erfahrungsgemäß liegt die Fehlergrenze bei $\pm 2 \%$.

Der Totporenanteil wurde mit dem Beckmann-Luftvergleichs-Pyknometer, nach [REDACTED] (1964), bestimmt. Hier ist die Fehlergrenze höher anzusetzen, da bei der Volumenmessung im aufgemahlten Probenzustand durch Substanzen mit großer Oberfläche oder hygroskopischen Eigenschaften zu große Dichten und damit zu hohe Totporositäten vorgespiegelt werden. Dies ist bei Tonen und Salzen der Fall.

Permeabilitätsmessungen

Die Permeabilität der Proben wurde an plugs mit den Abmessungen 3 x 3 cm mit einem an der Abteilung für Erdölgeologie gebauten Permeameter bestimmt.

Meßprinzip:	Luftmessung
Manteldruck:	allseitig, auftragsgemäß 10 bar
Fließdruck:	4 Stufen von 0.25 bis 1 bar
Hinterdruck:	normaler Luftdruck
Durchflußmessung:	Seifenblasenprinzip

Die Permeabilität wurde nach dem DARCY-Gesetz errechnet, aus [REDACTED] (1964). Mit den hierbei ermittelten Daten wurde eine grafische KLINKENBERG-Korrektur durchgeführt.

Eine Reihe der Proben waren so undurchlässig, daß die Messungen mit einem erhöhten Manteldruck von 250 bar und maximalen Fließdruck bis zu 9.25 bar wiederholt wurden. Teilweise waren die Proben so niedrig permeabel, daß sich nur ein Meßwert ermitteln ließ. Hier konnte keine KLINKENBERG-Korrektur durchgeführt werden. Aufgrund des deutlichen Salzgehaltes einiger Proben wurden diese anschließend mit destilliertem Wasser gespült und erneut gemessen. Es ergab sich jedoch keine Änderung der Meßergebnisse.

Messung der spezifischen Oberfläche

Die spezifische Oberfläche der Proben wurde nach DIN 66 132 mit einem AREA-Meter der Fa. STRÖHLEIN gemessen. Das Meßprinzip beruht auf dem Verfahren der Tieftemperatur-Stickstoff-Adsorption nach der BET-Methode [REDACTED] und [REDACTED], in [REDACTED] (1964). Das Meßverfahren ist als äußerst genau zu betrachten, jedoch sind probenspezifische Fehler insbesondere durch das kritische Adsorptionsverhalten von Salz nicht auszuschließen.

Raster-Elektronen-Mikroskopie

Zur Beurteilung des Porenraumes und als Interpretationshilfe für die petrophysikalischen Daten wurde das Probenmaterial mit einem Raster-Elektronen-Mikroskop untersucht.

Gerätetyp: ISI Super III A (International Scientific Instruments)

Einstellungsdaten: 200 - 4000-fache Vergrößerung
Auflösung 70 Å (SE-Bild)
30 kV Beschleunigungsspannung
Goldbedampfung

Längenmaßstäbe auf der fotografischen Reproduktion:

Maßbalken	Einheit	Dimension
_____	---	100 µm
_____	---	10 µm
_____	-	1 µm
_____		0.1 µm

Literaturverzeichnis

- ADAMS, A.E.,
MAC KENZIE, W. S.
und GUILFORD, C. Atlas der Sedimentgesteine in Dünnschliffen; Enke, Stuttgart 1986
- BACELLE, L. und
BOSELLINI, A. Vergleichsbilder für Häufigkeits-schätzungen von Lithoklasten; aus: FLÜGEL, E. S. 155 - 165 (s.u.)
- DUNHAM, R. J.
und BLATT, H. siehe FLÜGEL, E.
- FLÜGEL, E. Mikrofazielle Untersuchungsmethoden von Kalken; S. 60 - 73, Springer 1978
- FÜCHTBAUER, H. Zur Nomenklatur der Sedimentgesteine; aus: Erdöl und Kohle, S. 605 - 613, Hamburg 1955
- GALL, L. Über ein neues Gerät zur schnellen Bestimmung spezifischer Oberflächen; Angewandte Mess + Regeltechnik 4, (1964) Nr. 12, S. a107 - a111
- MÜLLER, G. Sedimentologie 1 - Methoden der Sedimentuntersuchung; Schweizerbarth, Stuttgart 1964 S. 253 - 259 und S. 264 - 269
- SCHOLLE, P. A. Carbonate Rock Constituents, Textures, Cements and Porosities; AAPG Memoir 27, Tulsa 1978
- Constituents, Textures, Cements, and Porosities of Sandstones and Associated Rocks; AAPG Memoir 28, Tulsa 1979
- PETTIJOHN, F. J. Rundungsgrade von Körnern mit geringer und hoher Sphärizität; aus: ADAMS, A. E. et al. (s. o.), S. 3

Probe: 3/150 25.43 - 25.59

Modalbestand: 35 - 40% Quarz
30 - 35% Karbonat
20 - 25% Ton
5% Erz

Klassifikation: [REDACTED] tKS; toniger, stark kalkiger Sandstein

Gefüge: Anzeichen von Bioturbation, sonst kein Interngefüge erkennbar.

Hauptgemengteile: In einer mikritisch-karbonatischen und tonigen Matrix ist subangulärer bis angerundeter detritischer Quarz in Siltkörngröße eingebettet. Die Quarzkörner sind randlich durch das Karbonat angelöst. Daneben treten vereinzelt angerundete Schillbruchstücke auf, deren fibröse Internstruktur bei gekreuzten Nicols den Beginn einer sparitischen Umwandlung zeigen. Pyrit tritt gleichmäßig verteilt in feinkörnigen Aggregaten auf. Anzeichen einer Bioturbation sind vorhanden. Die tonige Matrix enthält relativ viel Muskovit/Sericit.

Akzessorien: Kalifeldspat mit Albitzwillingen

Porenraum: kein Porenraum erkennbar

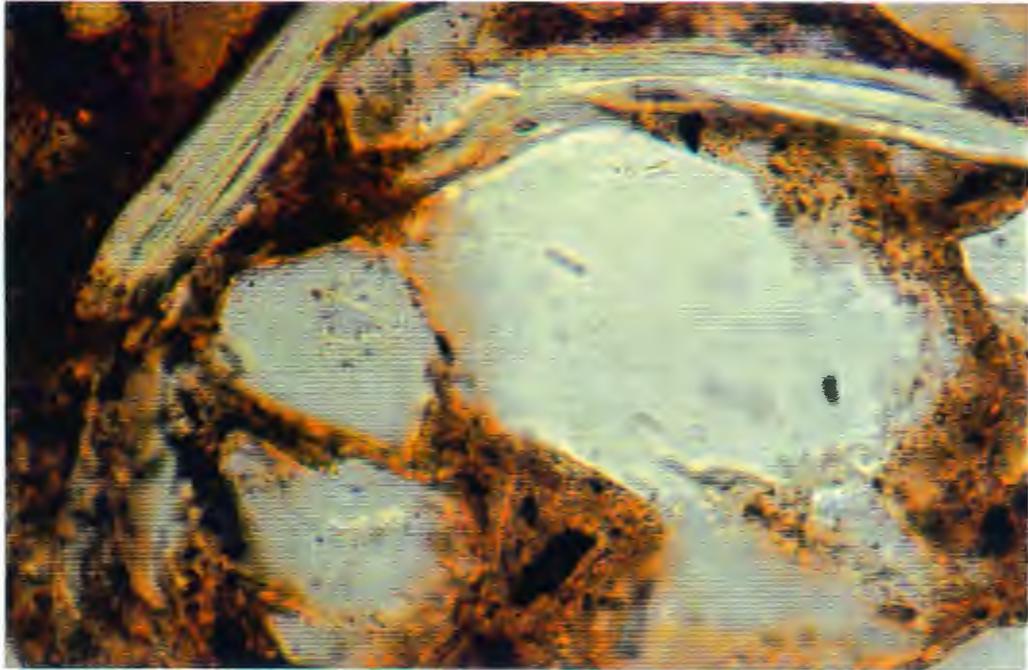


Abb. 1 // Nicols, 500-fache Vergrößerung
Muskovit und authigener Quarz in einer tonigen bis schwach
mikritischen Matrix. Quarz wird randlich durch das Karbonat
angelöst.



Abb. 2 400/2000-fache Vergrößerung
Sekundäre Porosität durch Anlösung des calcitischen Zements
im Kontakt zum Quarz. Weitergehende seitliche Vertiefungen
der Poren deuten auf ein kommunizierendes System hin.

Probe 3/150 25.43 - 25.59 Petrophysikalische Daten

Effektivporosität:	10.15 %
Totporosität:	3.59 %
Bulkdichte:	2.37 g/cm ³
scheinb. Korndichte:	2.64 g/cm ³
spez. Oberfläche:	6.53 m ² /g
Permeabilität:	nicht gemessen

Bemerkungen: Die ermittelten Porositätswerte mit der dazu verhältnismäßig geringen spezifischen Oberfläche stimmen gut mit den optischen Eindrücken von Lösungsporosität überein.

Probe: 3/150 27.60 - 27.72

Modalbestand:
40 - 45% Quarz
25 - 30% Karbonat
20 - 25% Ton
5 - 10% Erz

Klassifikation: [REDACTED] tSK; toniger, stark sandiger Kalkstein

Gefüge: Siltiges Gestein, bioturbat stark beansprucht. Durch laminare Vererzungspuren gekennzeichnetes Parallelgefüge.

Hauptgemengteile: In einer mikritisch-karbonatischen und tonig-schliefrigen Matrix ist siltiger Quarz eingebettet. Die Quarzkörner sind subangular bis abgerundet und weisen an den Rändern karbonatische Anlösungserscheinungen auf. Untergeordnet sind gut gerundete, siltige Schillbruchstücke enthalten, deren fibröse Internstruktur blieb.
Nachträglich tritt als Vererzung feinkörnig verteilter idiomorpher Pyrit auf, sowie kleinere Brauneisenaggregate und laminare Anreicherungen.
Tonhaltige Bereiche sind durch Bioturbation stark zerwühlt.

Akzessorien: Plagioklas, Muskovit/Sericit

Porenraum: Keine Porosität erkennbar

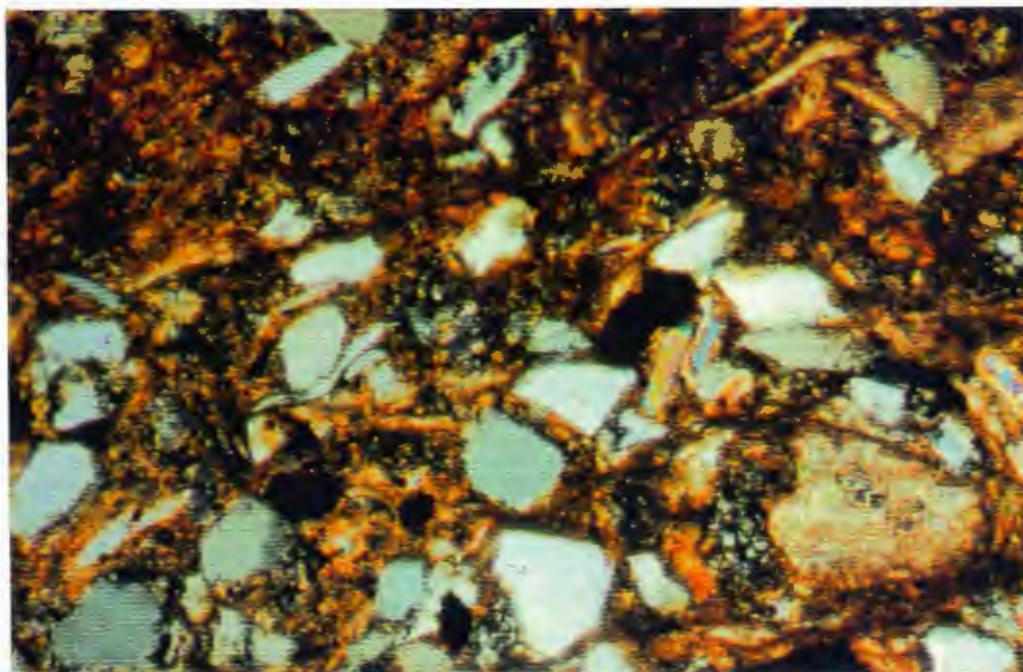


Abb. 3 X Nicols, 100-fache Vergrößerung
Xenomorpher Quarz, Muskovit und biogener Calcit in einer
tonigen und mikritisch-karbonatischen Matrix. Brauneisen-
vererzung.

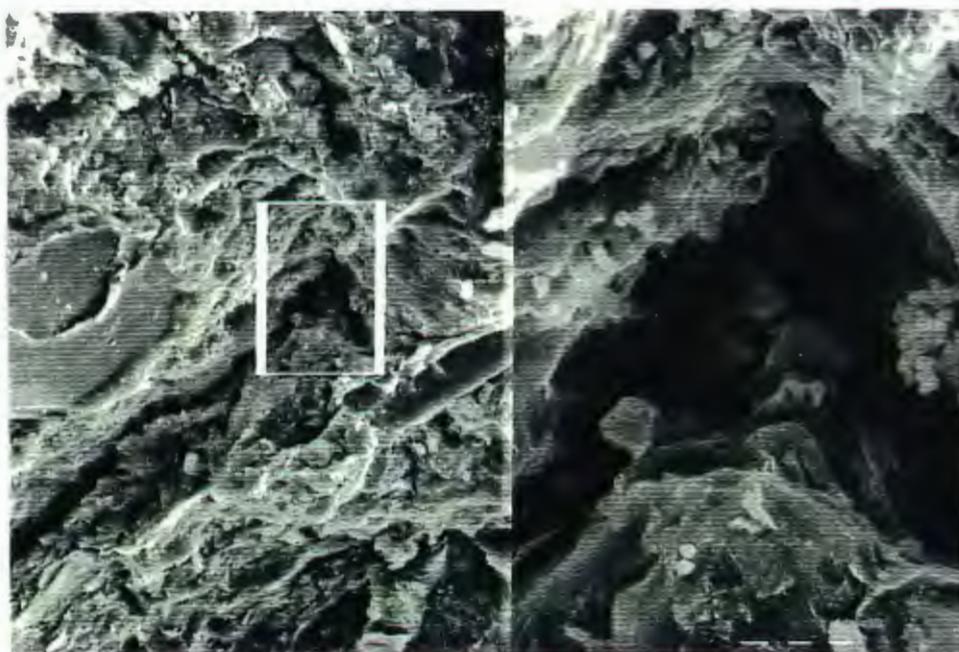
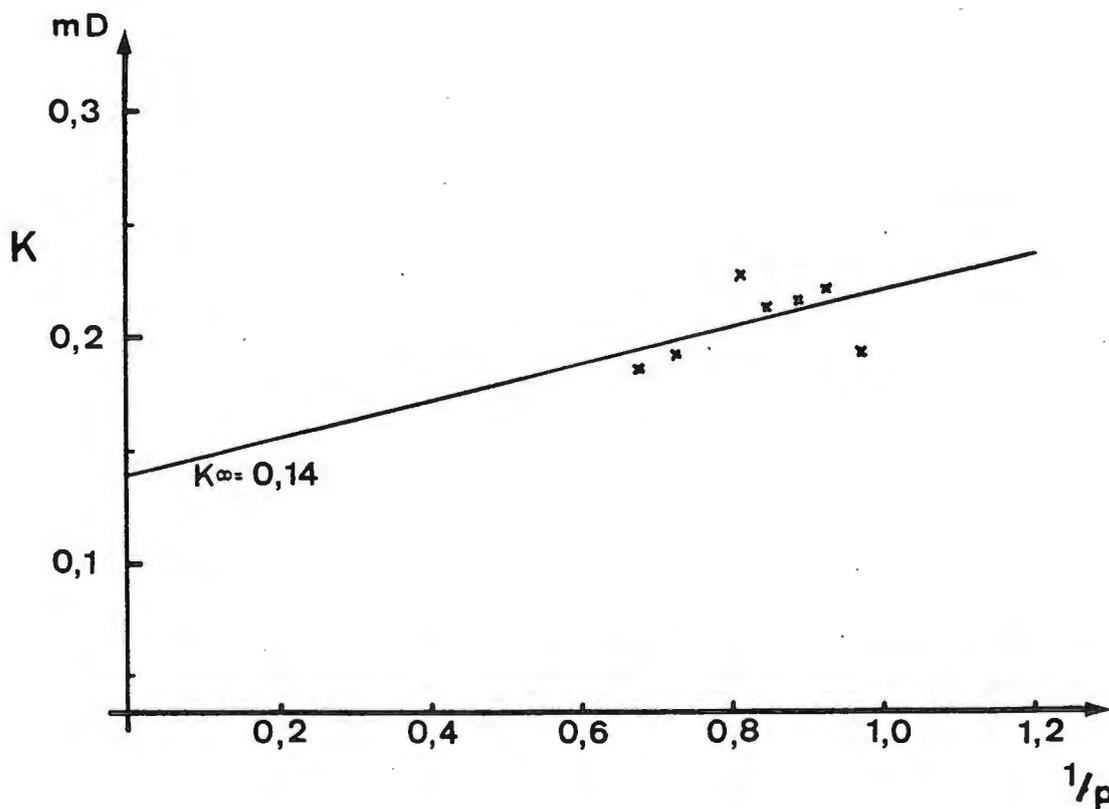


Abb. 4 200/1000-fache Vergrößerung
Quarz und Calcit in einer mergeligen Matrix. Parallel zur
Kornoberfläche und den tonigen Lagen verlaufender Porenka-
nal mit querschnittsveränderndem Pyritzement.

Probe 3/150 27.60 - 27.72 Petrophysikalische Daten

Effektivporosität:	9.05 %
Totporosität:	3.17 %
Bulkdichte:	2.40 g/cm ³
scheinb. Korndichte:	2.64 g/cm ³
spez. Oberfläche:	8.30 m ² /g
Permeabilität:	0.14 mD



Klinkenberg-Korrektur

Bemerkungen: Eine relativ gute Permeabilität bei mittlerer Lösungsporosität. Nur gelegentlich sind die engen Porenkanäle von Ton und Pyritementation verschlossen.

Probe: 3/150 28.12 - 28.27

Modalbestand:
35 - 40% Quarz
45 - 50% Karbonat
10 - 15% Ton
2 - 5% Erz

Klassifikation: [REDACTED]: tSK; toniger, stark sandiger Kalkstein

Gefüge: Richtungslose Textur, siltige Korngröße, gut gerundete biogene Bruchstücke, Bioturbation

Hauptgemengteile: Subangularer bis angerundeter Quarz und calcitische Bruchstücke ebenfalls in Siltkorngröße sind mikritisch-karbonatisch eingebettet. Foraminiferen und gut gerundete Schillbruchstücke sind untergeordnet enthalten. Quarz ist randlich durch Karbonat angelöst; die fibrösen calcitischen Komponenten sind an den Rändern ebenfalls mikritisiert.
Der mikritische Zement enthält Tonanreicherungen, in denen Bioturbationsspuren erhalten sind. Pyrit tritt auf als idiomorphe Einsprenglinge sowie Brauneisen in Form kleinerer Aggregate.

Akzessorien: Plagioklas, Muskovit/Sericit

Porenraum: kein Porenraum erkennbar

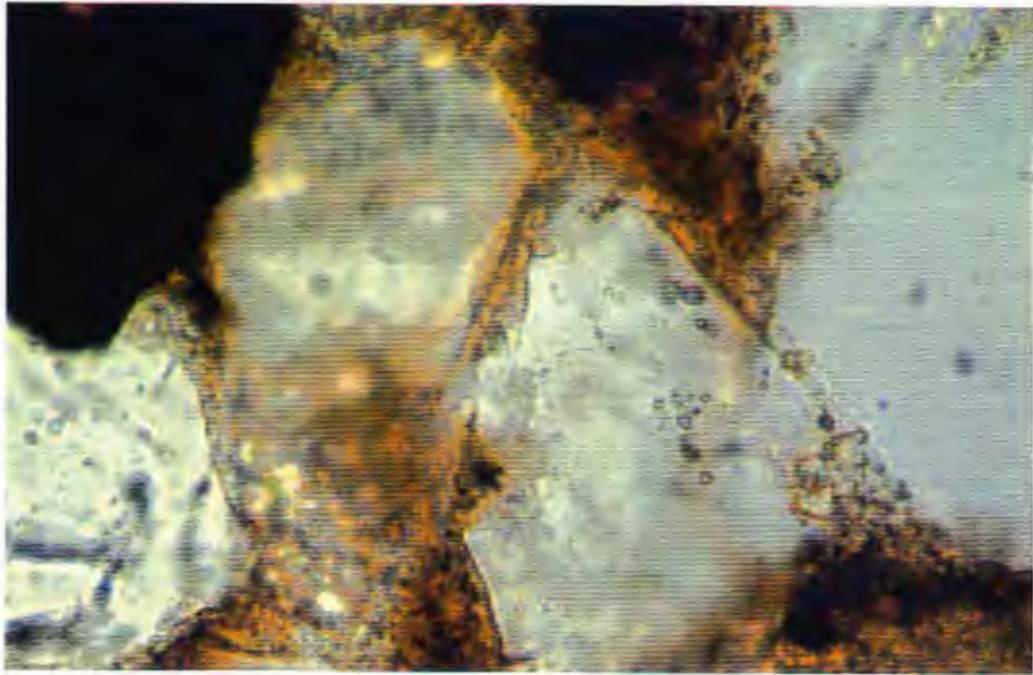


Abb. 5 // Nicols, 500-fache Vergrößerung
Durch sekundäre Quarzabscheidung erfolgt eine Ausbildung
idiomorpher Kristallflächen. In den Zwickeln Reste der tonig-
mikritischen Matrix.

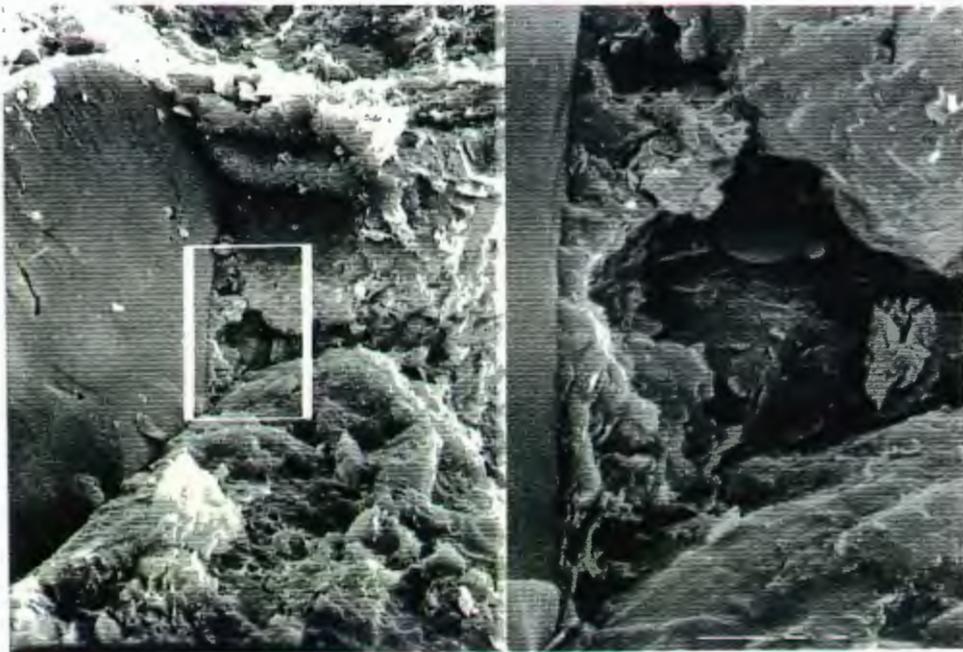


Abb. 6 500/2500-fache Vergrößerung
Quarzkörner mit muscheligen Bruch und Tonüberzug in einer
mergeligen Matrix. Zwickelporosität wird durch Tonaggrega-
te verringert.

Probe 3/150 28.12 - 28.27 Petrophysikalische Daten

Effektivporosität:	7.60 %
Totporosität:	2.41 %
Bulkdichte:	2.45 g/cm ³
scheinb. Korndichte:	2.65 g/cm ³
spez. Oberfläche:	8.79 m ² /g
Permeabilität:	< 1.66 x 10 ⁻³ mD

Bemerkungen: Bei 10 bar Manteldruck, einem maximalen Fließdruck von 1 bar und 600 Sek. Fließdauer ließ sich nur rechnerisch ein Grenzwert ermitteln. Bei Erhöhung des Manteldruckes bis zu 250 bar wurde der Probenkörper zerstört. Der optische Eindruck aufgrund der REM-Aufnahme zeigt, daß die geringe Zwickelporosität und vermutlich engen Porenhäule permeabilitätsmindernd mit Ton verfüllt sind. Das Verhältnis zwischen den ermittelten spezifischen Oberflächen- und Porositätswerten bestätigt dies.

Probe: 3/150 29.53 - 29.68

Modalbestand:
60 - 65% Quarz
30 - 35% Karbonat (Biogene Bruchstücke)
2 - 5% Ton
1% Erz

Klassifikation: [REDACTED]: KS; stark kalkiger Sandstein

Gefüge: Kompaktiertes siltiges Gestein, ohne erkennbares Interngefüge; Drucklösung

Hauptgemengteile: Stark kompaktierter siltiger Quarz mit häufig suturierten konkav-konvexen Kornkontakten und undulöser Auslöschung. Selten tritt idiomorpher Quarz auf, Bildung von Quarzzement. Quarz ist gelegentlich von dünnen Tonsäumen umgeben. Die häufig enthaltenen Schillbruchstücke sind z. T. mikritisch umkristallisiert und werden von Quarz angelöst.
Karbonat kommt auch als Zement vor, ist aber überwiegend korrodiert. Pyrit tritt fein verteilt im Karbonat auf.

Akzessorien: Chlorit, Muskovit/Sericit

Porenraum: keine Porosität erkennbar

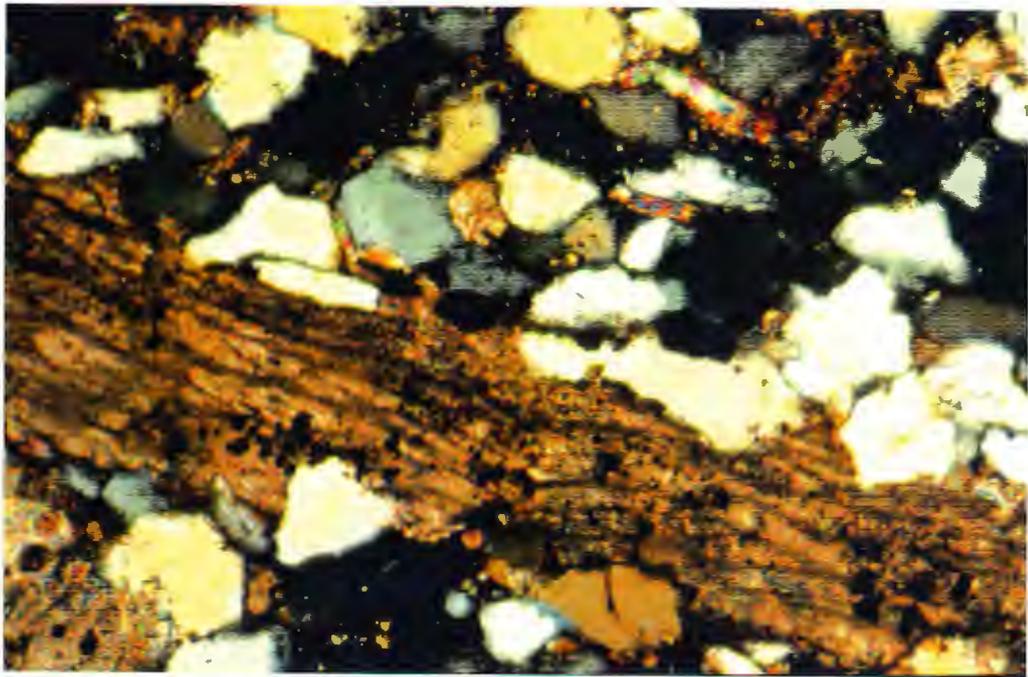


Abb. 7 X Nicols, 100-fache Vergrößerung Schillbruchstück und stark kompaktierter Quarz mit Drucklösung an den Kornkontakten. Dazwischen calcitische und mikritische Zwickelfüllung. Muskovit wird durch die Kompaktion deformiert. Brauneisenvererzung.



Abb. 8 300/1500-fache Vergrößerung Intrapartikuläre Porosität in einem Schillbruchstück. Die Porenwandung ist mit einer Tonhaut belegt (EDX: Ca, Si, Al, Fe, K). Die Matrix ist mergelig ausgebildet.

Probe 3/150 29.53 - 29.68 Petrophysikalische Daten

Effektivporosität:	14.71 %
Totporosität:	0.67 %
Bulkdichte:	2.26 g/cm ³
scheinb. Korndichte:	2.65 g/cm ³
spez. Oberfläche:	5.04 m ² /g
Permeabilität:	< 1.66 x 10 ⁻³ mD

Bemerkungen:

An der Probe ließ sich bei 10 bar Mantel-
druck und einem maximalen Fließdruck von 1
bar nur rechnerisch ein Grenzwert ermitteln.
Weitere Druckerhöhung bis zu 250 bar Mantel-
druck führte zur Zerstörung der Probe. Die
geringe spezifische Oberfläche weist in die-
sem Zusammenhang auf enge Poreneintrittsra-
dien hin, obwohl die Effektivporosität sehr
groß ist. Die sehr geringe Totporosität ist
ein Anzeichen für Lösungsporosität.

Probe: 3/150 31.78 - 31.91

Modalbestand: 15 - 20% Quarz
80 - 85% Karbonat
(davon 25% biogene Gemengteile)
1% Erz

Klassifikation: [REDACTED] sK; sandiger Kalkstein
grainstone

Gefüge: Kompakter Biosparit mit gerundeten Komponenten
und siltigem Quarz

Hauptgemengteile: In einer sparitisch-calcitischen Matrix ist
ein hoher mikritisierter Schillanteil enthal-
ten, der randlich in Pseudosparit umgewandelt
wird. Zwischen den Komponenten ist gelegent-
lich granularer Blockzement ausgebildet. Hohl-
räume sind orthosparitisch gefüllt.
Untergeordnet sind subangularer bis angerun-
deter detritischer Quarz und Pyrit enthalten.

Akzessorien: Ton

Porenraum: Kein Porenraum erkennbar

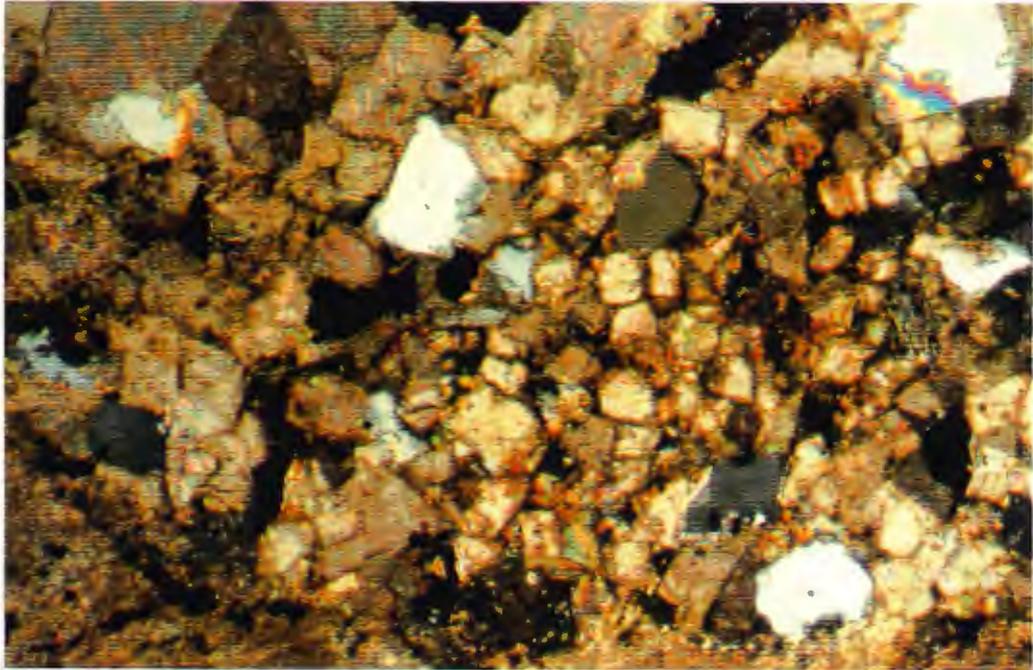


Abb. 9 // Nicols, 100-fache Vergrößerung
Detritischer Quarz in einer pseudosparitischen bis calci-
tischen Matrix.

Probe: 3/150 34.21 - 34.39

Modalbestand: 50 - 55% Quarz
40 - 45% Karbonat (davon 50% organische Reste)
5 - 10% Ton
1% Erz

Klassifikation: [REDACTED] KS; stark kalkiger Sandstein

Gefüge: Kompaktiertes siltiges Gestein, Drucklösungserscheinungen, Parallelgefüge durch Anordnung von Tonschlieren und Einregelung länglicher Schillbruchstücke

Hauptgemengteile: Dicht gepackter subangularer bis angerundeter siltiger Quarz ist tonig bis mikritisch-karbonatisch zementiert. Quarz hat oft konkav-konvexe Kornkontakte mit Drucklösungserscheinungen und löscht undulös aus. Häufig ist er von dünnen Tonsäumen umgeben. In Hohlräumen kommt es zur Bildung von Quarzzement. Quarz löst fibröses Karbonat an und wird selbst von Mikrit angelöst.

Karbonat ist neben dem mikritischen Zement in Form von Schillbruchstücken vorhanden, deren fibröse Internstruktur bei größeren Komponenten noch erhalten ist. Hohlräume sind orthosparitisch ausgefüllt.

Ton tritt überwiegend schlierenartig auf.

Akzessorien: Plagioklas, Mikroklin, Muskovit/Sericit

Porenraum: kein Porenraum erkennbar

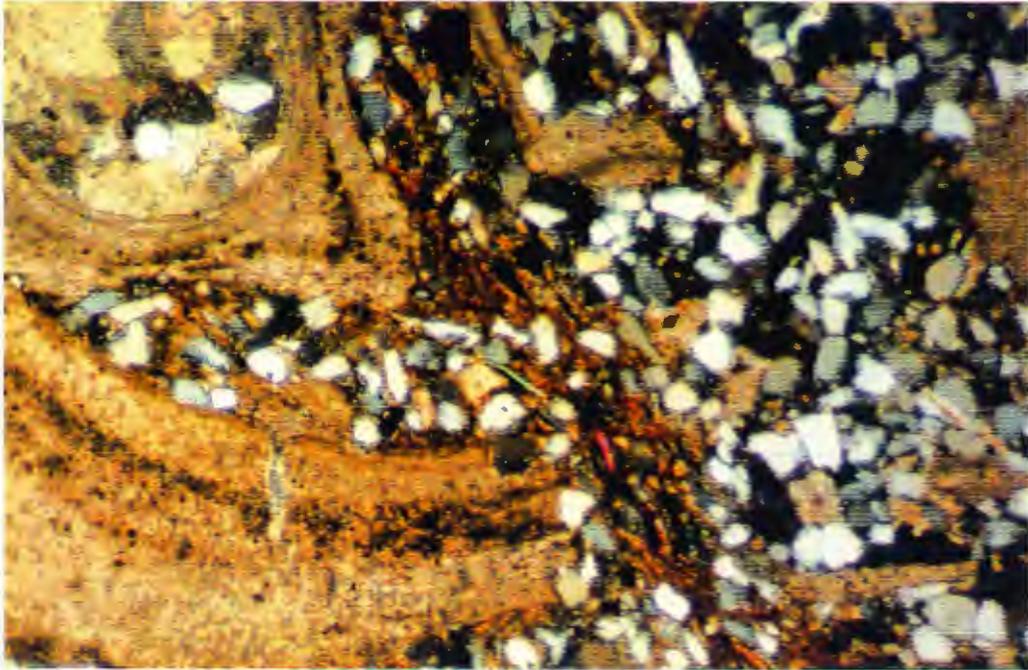


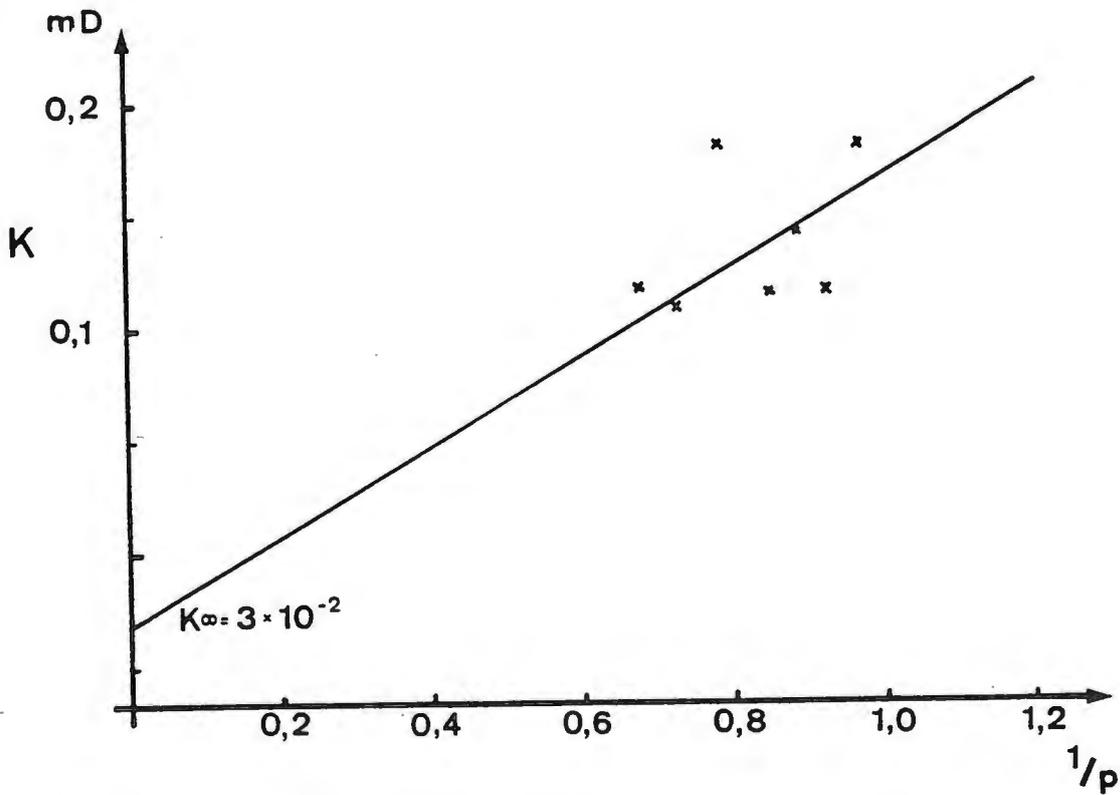
Abb. 10 X Nicols, 40-fache Vergrößerung
Detritischer Quarz und Molluskenreste sind mikritisch-karbonatisch zementiert. Authigener Calcit als Hohlraumfüllung im Schill. Quarz löst Karbonat an. In Tonschlieren tritt eingeregelter Muskovit auf. Starke Kompaktion.



Abb. 11 1600-fache Vergrößerung
Interparikuläre Porosität in einer mergeligen Matrix (Ca, Si, Al, Fe, K, Mg). Am rechten Bildrand Pyrit.

Probe 3/150 34.21 - 34.39 Petrophysikalische Daten

Effektivporosität:	14.97 %
Totporosität:	1.37 %
Bulkdichte:	2.24 g/cm ³
scheinb. Korndichte:	2.64 g/cm ³
spez. Oberfläche:	5.94 m ² /g
Permeabilität:	3 x 10 ⁻² mD



Klinkenberg-Korrektur

Bemerkungen: Niedrige Permeabilität und eine geringe spezifische Oberfläche bei einer hohen Porosität lassen auf niedrige Poreneintrittsradien schließen. Der geringe Totporenanteil ist durch Lösungsporosität bedingt.

Probe: 3/150 36.52 - 36.65

Modalbestand: 35 - 40% Quarz
40 - 45% Karbonat
15 - 20% Ton
2% Erz

Klassifikation: [REDACTED] tSK; toniger, stark sandiger Kalkstein

Gefüge: Deutliche Feinschichtung durch abwechselnd tonige und siltige Lagen mit Einregelungszonen biogenen Materials. Teilweise Bioturbation.

Hauptgemengteile: Subangularer bis angerundeter siltiger Quarz ist tonig bis calcitisch zementiert. Daneben sind häufig Schillbruchstücke enthalten, die nur selten randlich mikritisiert sind. Tonig zementierte Bereiche sind durch Bioturbation beansprucht, und haben einen nur geringen Anteil organogener Reste. Häufig sind hier feinschuppige Sericite enthalten. Karbonatisch zementierte Lagen sind gering zerwühlt, und weisen eine ± parallele Einregelung länglicher Schillgemengteile auf. Darin vorhandene tonige Partien sind schlierig ausgebildet. Quarz mit konkav-konvexen Kornkontakten zeigt Drucklösungssuturen; oft ist Quarz durch Karbonat angelöst. Biogenes Karbonat ist häufig quarzitisches angelöst. Vererzung tritt als idiomorpher Pyrit und kleinere Brauneisenaggregate auf.

Akzessorien: Sericit/Muskovit

Porenraum: kein Porenraum erkennbar

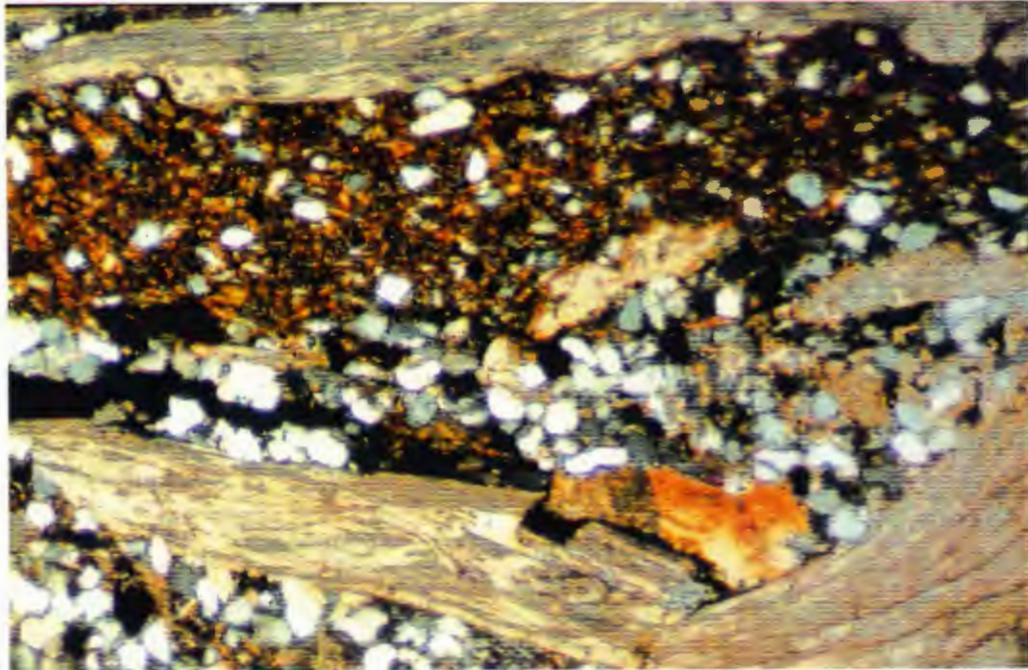


Abb. 12 X Nicols, 40-fache Vergrößerung
Schillbruchstücke und subangulärer bis angerundeter Quarz
in einer tonigen Matrix. Zementartige Brauneisenerzungen.
Parallelgefüge.

Probe: 3/150 38.96 - 39.10

Modalbestand: 35 - 40% Quarz
60 - 65% Karbonat (davon 15% biogene Reste)
1% Erz

Klassifikation: [REDACTED] SK; stark sandiger Kalkstein

Gefüge: Poikilitische Textur, keine Internstruktur
erkennbar

Hauptgemengteile: Detritischer siltiger Quarz ist calcitisch zementiert, wobei die Quarzkörner in den größeren Calcitkristallen eingeschlossen sind (poikilitische Textur).
Untergeordnet sind biogene Bruchstücke enthalten, die randlich in Mikrit umgewandelt sind mit Übergängen zu Pseudosparit.
Selten treten dünne Tonsäume auf, die ebenso wie Brauneisenvererzung schwache Drucklösungszonen als irreguläre Stylolythen nachzeichnen. Pyrit tritt idiomorph auf.

Akzessorien: feinschuppiger Sericit, Mikroklin

Porenraum: keine Porosität erkennbar

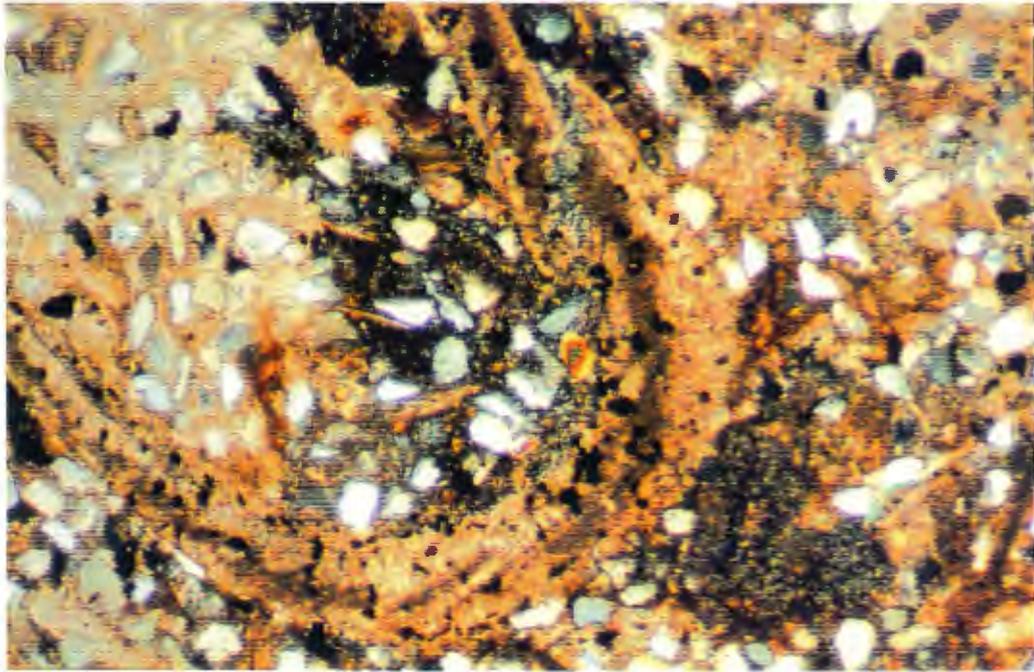


Abb. 13 X Nicols, 40-fache Vergrößerung
Subangulärer detritischer Quarz und Schill in einer calci-
tischen Matrix. Die Calcitkristalle sind größer als Quarz
und umschließen mehrere Körner (poikilitische Textur).

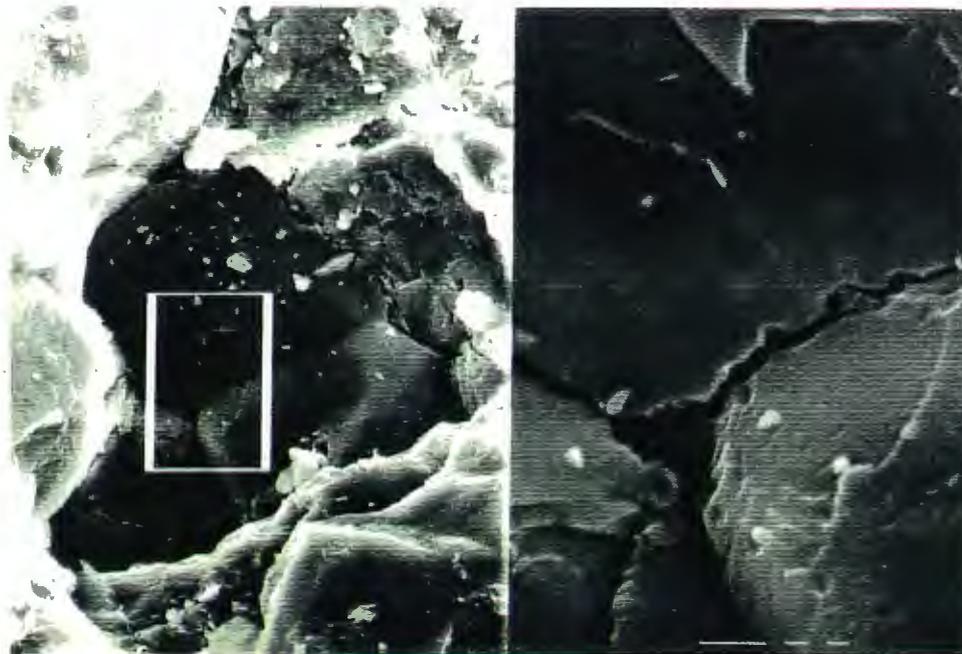


Abb. 14 500/2500-fache Vergrößerung
Interpartikuläre Porosität zwischen Quarzkörnern in einer
überwiegend calcitischen Matrix. Geringer Tonanteil.

Probe 3/150 38.96 - 39.10 Petrophysikalische Daten

Effektivporosität:	1.44 %
Totporosität:	1.16 %
Bulkdichte:	2.63 g/cm ³
scheinb. Korndichte:	2.67 g/cm ³
spez. Oberfläche:	1.49 m ² /g
Permeabilität:	< 1.66 x 10 ⁻³ mD

Bemerkungen: An der Probe konnte bei 10 bar Manteldruck und 1 bar Fließdruck über 600 Sekunden Meßdauer nur ein rechnerischer Grenzwert ermittelt werden, sie wurde unter Hochdruck zerstört. Die geringe Permeabilität stimmt mit den anderen petrophysikalischen Daten überein und wird auch im REM deutlich.

Probe: 3/150 41.17 - 41.32

Modalbestand:
40 - 45% Quarz
35 - 40% Karbonat
20 - 25% Ton
2% Erz

Klassifikation: [REDACTED]: tKS; toniger, stark kalkiger Sandstein, (mergeliger Sandstein)

Gefüge: Keine Einregelung der Gemengteile vorhanden, einzelne Bereiche durch Bioturbation stark zerwühlt.

Hauptgemengteile: Xenomorpher bis hypidiomorpher siltiger Quarz und Schillbruchstücke sind in einer mikritisch-karbonatischen bis tonigen Matrix eingebettet. Konkav-konvexe Quarzkornkontakte haben Drucklösungssuturen; oft ist Quarz auch mikritisch angelöst. Selbst löst Quarz Schillbruchstücke an, die überwiegend in Sparit umgewandelt sind. Karbonatische Zemente und tonige Bereiche sind ungleichmäßig verteilt. Der Ton tritt schlierenartig auf und zeigt eine durch Bioturbation stark geprägte Struktur. Gelegentlich ist er als dünner Saum um Quarzkörner vorhanden. Brauneisenvererzung ist in Form kleinerer Aggregate sporadisch verteilt, gelegentlich tritt Brauneisen als Zement um Quarz auf.

Akzessorien: Plagioklas, Biotit, Muskovit/Sericit, Chlorit

Porenraum: Kein Porenraum erkennbar

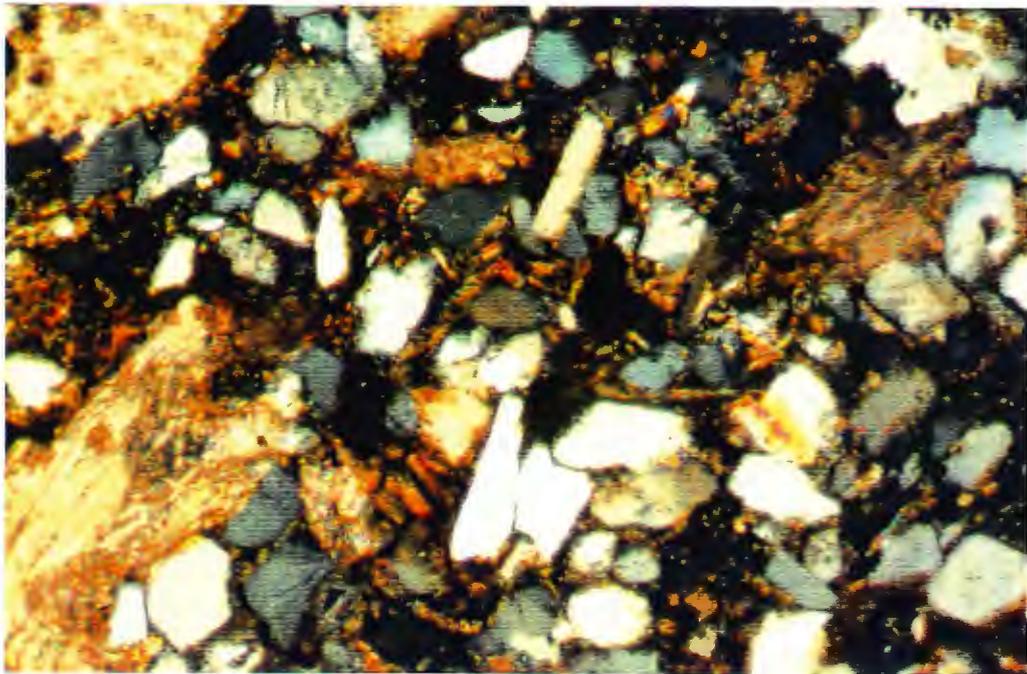


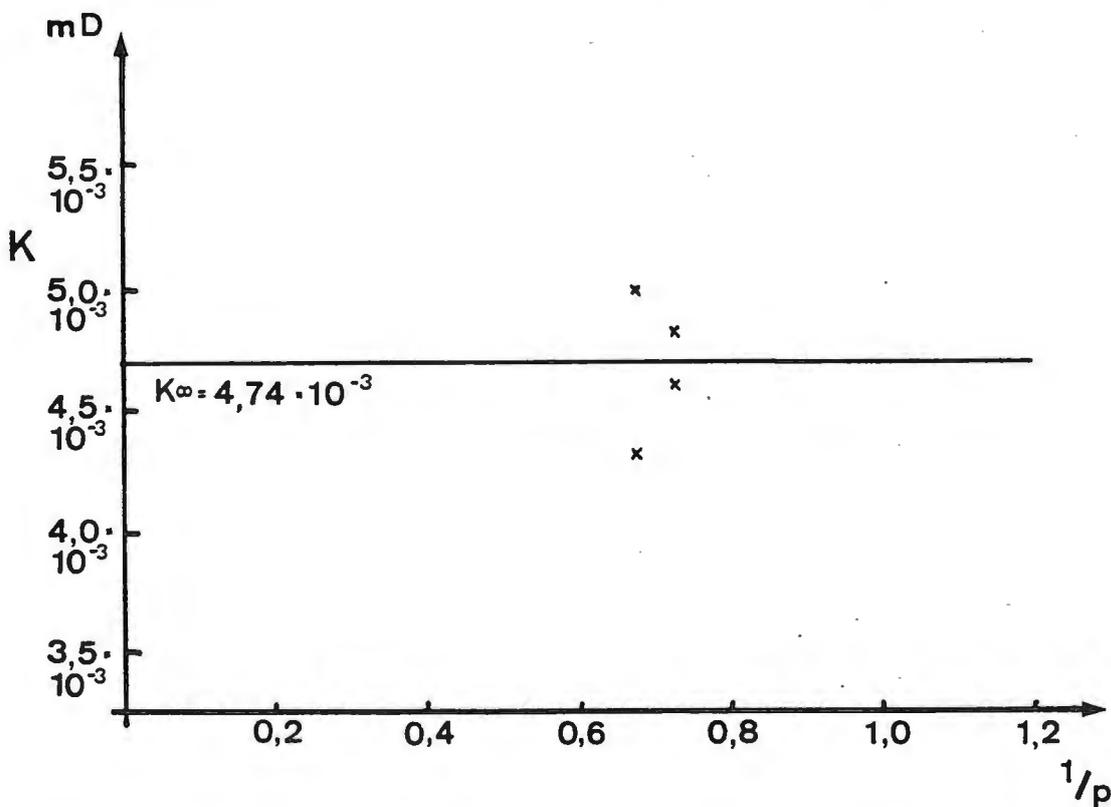
Abb. 15 X Nicols, 100-fache Vergrößerung
Dicht gepackter xenomorpher Quarz und calcitische Bruchstücke in einer tonigen bis mikritischen Matrix. Quarz wird karbonatisch angelöst. Drucklösungssuturen an Konkavkonvexen Kornkontakten und undulöse Auslöschung weisen auf starke Deformation hin.



Abb. 16 1200-fache Vergrößerung
Lösungsporosität in Form langer Porenkanäle zwischen Muskovit (oben links) und Quarz. Quarzkörner mit Ton-coating. Salzhaltige, mergelige Matrix (Ca, Si, Fe, Al, K, NaCl).

Probe 3/150 41.17 - 41.32 Petrophysikalische Daten

Effektivporosität:	9.33 %
Totporosität:	1.07 %
Bulkdichte:	2.39 g/cm ³
scheinb. Korndichte:	2.64 g/cm ³
spez. Oberfläche:	11.36 m ² /g
Permeabilität:	4.74 x 10 ⁻³ mD



Klinkenberg-Korrektur

Bemerkungen: Die sehr niedrige Permeabilität bei mittlerer Porosität ist durch enge Porenkanäle bedingt. Bei Erhöhung des Manteldruckes bis zu 250 bar und einem maximalen Fließdruck von 9.25 bar wurde die Probe anschließend dicht, was auf eine Schädigung der Poren vermutlich durch losgerissenen Ton zurückzuführen ist (-> hohe spezifische Oberfläche).

Probe: 3/150 43.15 - 43.26

Modalbestand:
30 - 35% Quarz
25 - 30% Karbonat
35 - 40% Ton
2% Erz

Klassifikation: [REDACTED] SMgl; stark sandiger Mergel

Gefüge: Durch Bioturbation stark geprägtes Sediment,
kein Parallelgefüge vorhanden

Hauptgemengteile: Subangularer und angerundeter siltiger Quarz
sowie Calcit sind überwiegend in einer tonigen
Matrix eingebettet, seltener tritt mikritisch-
karbonatischer Zement auf. Im Ton ist häufig
Pseudosparit enthalten.

Die seltenen biogenen Bruchstücke sind oft in
Sparit umgewandelt und randlich mikritisiert.
Zwischen einigen Komponenten sind die karbona-
tischen Zementtypen A und B ausgebildet.

An konkav-konvexen Quarzkornkontakten sind häu-
fig Lösungssuturen zu erkennen. In den unter-
schiedlichen Zementbereichen werden sowohl Cal-
cit von Quarz als auch Quarz von Karbonat ange-
löst.

Vererzungen treten als Brauneisenaggregate auf
und kennzeichnen als dünne Säume Kompaktions-
suturen im Ton. Selten tritt idiomorpher Pyrit
auf.

Akzessorien: Plagioklas, Muskovit/Sericit, Epidot

Porenraum: nicht erkennbar

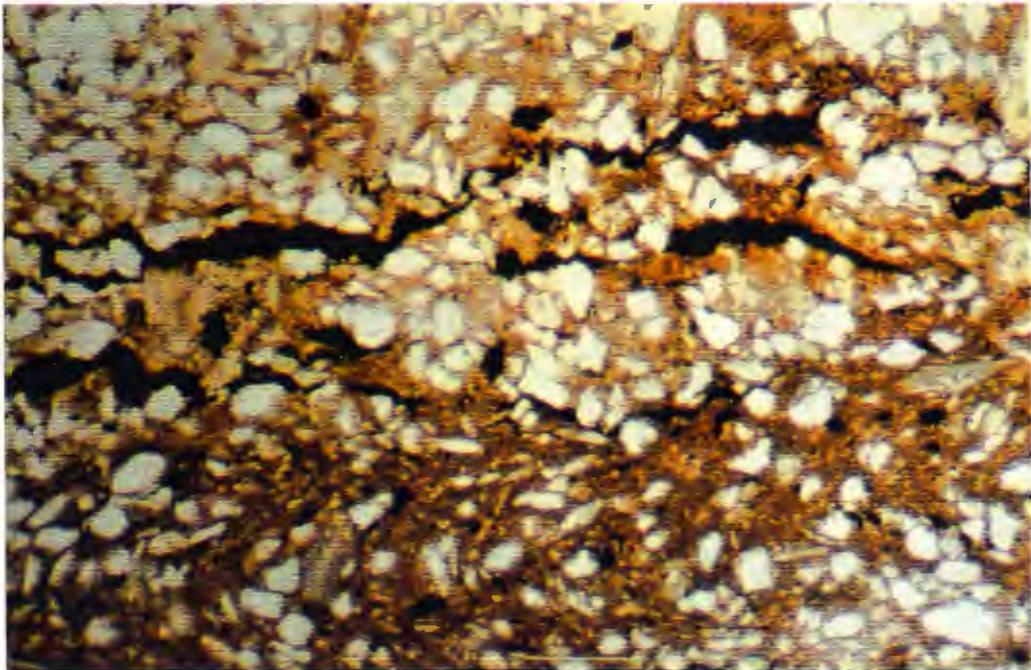


Abb. 17 // Nicols, 40-fache Vergrößerung
Detritischer Quarz in einem pseudomikritischen Zement. Da-
neben Bereiche mit einer tonigen Matrix, die ein bioturba-
tes Gefüge aufweist. Schlierenartige Brauneisenanreicher-
ungen.



Abb. 18 380/1900-fache Vergrößerung
Sekundäre Porosität entlang der Kornkontakte, von dort aus
in die mergelige Matrix hineingehend. Porenkanäle z. T. mit
Pyrit verfüllt. Quarzkörner sind mit Ton überzogen.

Probe 3/150 43.15 - 43.26 Petrophysikalische Daten

Effektivporosität:	8.37 %
Totporosität:	0.54 %
Bulkdichte:	2.45 g/cm ³
scheinb. Korndichte:	2.67 g/cm ³
spez. Oberfläche:	9.98 m ² /g
Permeabilität:	< 1.66 x 10 ⁻³ mD

Bemerkungen:

Bei 10 bar Manteldruck, 1 bar Fließdruck und einer maximalen Meßzeit von 600 Sek. stellte sich ein Grenzwert < 1.66 x 10⁻³ mD ein. Die Veränderung der Meßbedingungen zu höheren Drücken führte zur Zerstörung des Probenkörpers. Für die Dichtheit der Gesteinsprobe sind trotz mittlerer Porosität die im REM sichtbaren niedrigen Porenradien ausschlaggebend, die zusätzlich durch Ton oder Pyritzement verringert werden können. Die langen Porenkanäle und der geringe Totporenanteil lassen Lösungsporosität vermuten.

Probe: 3/150 45.05 - 45.20

Modalbestand:
35 - 40% Quarz
30 - 35% Karbonat
20 - 25% Ton
5 - 8% Erz

Klassifikation: [REDACTED] : tKS; toniger, stark kalkiger Sandstein

Gefüge: Kompaktes Gestein mit bioturbater Textur, kein Parallelgefüge

Hauptgemengteile: Die tonige Matrix enthält subangularen bis angerundeten siltigen Quarz und detritischen Calcit. Seltener ist mikritisch-karbonatischer und sparitischer Zement vorhanden. Biogene Bruchstücke sind nur selten enthalten und überwiegend sparitisiert sowie randlich in Mikrit oder Pseudosparit umgewandelt. Pseudosparit kommt sonst zusammen mit Hellglimmer nur in schlierig vertonten Bereichen vor. Nebeneinander sind Quarz mikritisch und Calcit quarzitisches angelöst. Quarz löscht z. T. undulös aus. Vererzung ist als Brauneisenzement und -aggregate untergeordnet vorhanden.

Akzessorien: feinschuppiger Muskovit/Sericit, Chert, Mikroklin und Plagioklas

Porenraum: nicht erkennbar



Abb. 19 X Nicols, 100-fache Vergrößerung
Detritischer Quarz calcitisch zementiert, poikilitisches
Gefüge. Bohrgänge im Calcit sind mit Mikritzement verfüllt.

Probe: 3/150 48.91 - 49.05

Modalbestand: 30 - 35% Quarz
40 - 45% Karbonat
20 - 25% Ton
5% Erz

Klassifikation: [REDACTED] tSK; toniger, stark sandiger Kalkstein

Gefüge: Dichtes Gestein mit einem locker gepackten Anteil gut sortierter Biogene. Kein Interngefüge erkennbar. Poikilitische Textur.

Hauptgemengteile: Calcitische biogene Relikte, Sparit und siltiger Quarz sind tonig bis mikritisch-karbonatisch eingebettet. Vereinzelt sind die Calcitkristalle so groß, daß sie mehrere detritische Quarzkörner umhüllen (poikilitische Textur). Quarz ist häufig hypidiomorph ausgebildet und löst biogenen Calcit und Sparit an. Er zeigt undulöse Auslöschung. Selbst wird Quarz von mikritischem Karbonat angelöst.

Ton ist meist in Schlieren vorhanden, die feinschuppigen Muskovit/Sericit enthalten, seltener als dünne Säume um Quarz und biogenen Detritus. Vererzungsspuren sind als teilweise zementartige Brauneisenanreicherungen und idiomorpher Pyrit anzutreffen.

Akzessorien: Mikroklin, Plagioklas, Muskovit/Sericit, Chert

Porenraum: nicht erkennbar

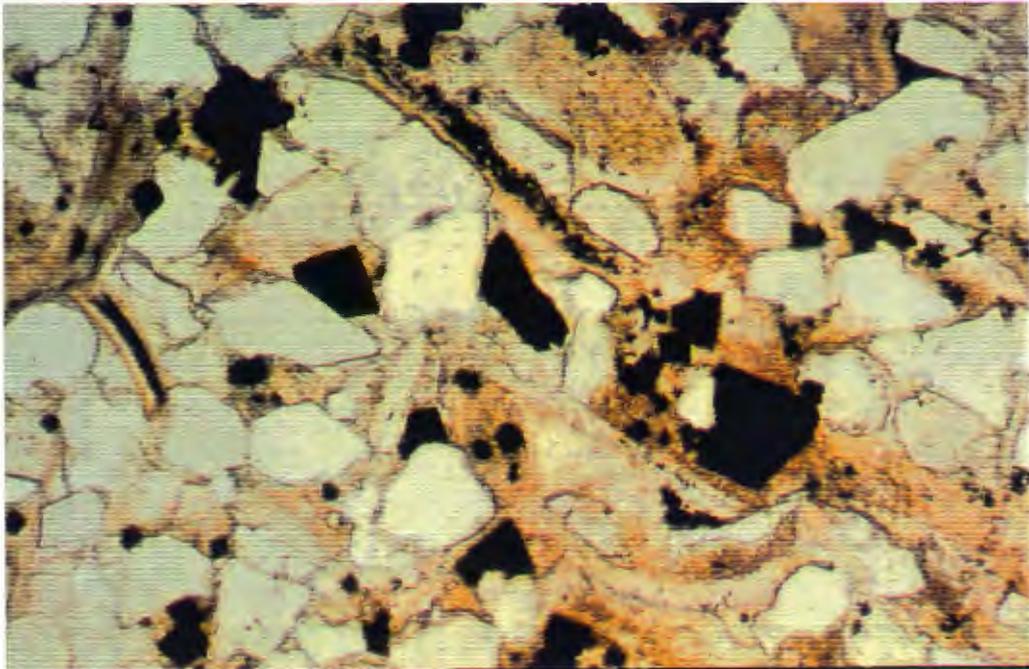


Abb. 20 // Nicols, 100-fache Vergrößerung
Idiomorphe Pyrit-Einsprenglinge und xenomorpher bis hypidiomorpher Quarz in einem Calcitzement. Die Quarzkornkontakte weisen Drucklösungssutturen auf. Quarz wird karbonatisch angelöst.

Probe: 3/150 54.15 - 54.28

Modalbestand: 35 - 40% Quarz
45 - 50% Karbonat
10% Ton
2 - 5% Erz

Klassifikation: [REDACTED] tSK; toniger, stark sandiger Kalkstein

Gefüge: Kompaktes siltiges Gestein mit locker gepacktem unsortiertem biogenem Anteil, leichte Bioturbation möglich, sonst kein Interngefüge erkennbar

Hauptgemengteile: Xenomorpher bis hypidiomorpher Quarz ist überwiegend sparitisch-karbonatisch zementiert. In einzelnen Bereichen tritt poikilotopische Textur auf. Nur gelegentlich sind vertonte Zonen enthalten, in denen Spuren schwacher Bioturbation zu erkennen sind. Die Tone enthalten Hellglimmer.

Biogene Relikte sind untergeordnet als Schillbruchstücke und Echinodermenreste vorhanden. Randlich sind diese mikritisch oder pseudosparitisch umgewandelt, die fibröse Interstruktur ist häufig erhalten geblieben.

Die calcitischen Gemengteile sind gelegentlich durch Quarz angelöst, während Quarz mikritisch angelöst wird. Quarz löscht undulös aus und zeigt an konkav-konvexen Kornkontakten Drucklösungssuturen.

Vererzung tritt als Brauneisen und Pyrit auf.

Akzessorien: Mikroklin, Plagioklas, Muskovit/Sericit, Epidot

Porenraum: nicht erkennbar

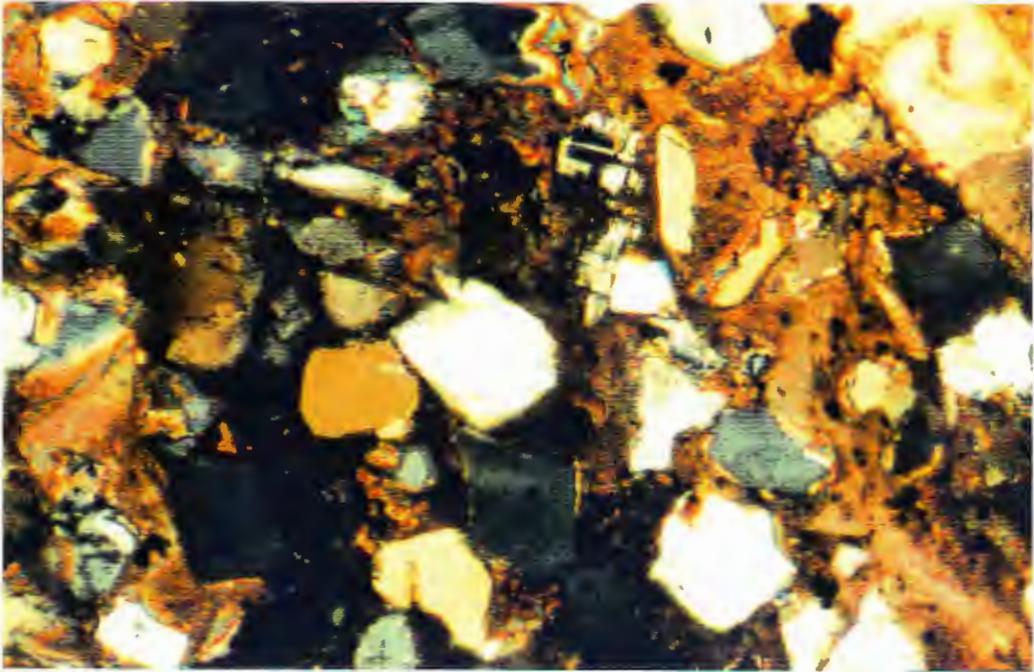


Abb. 21 X Nicols, 100-fache Vergrößerung
Detritischer Quarz und Mikroklin werden vom calcitischen
Zement angelöst. Quarz löscht undulös aus. Reste einer to-
nigen Matrix.

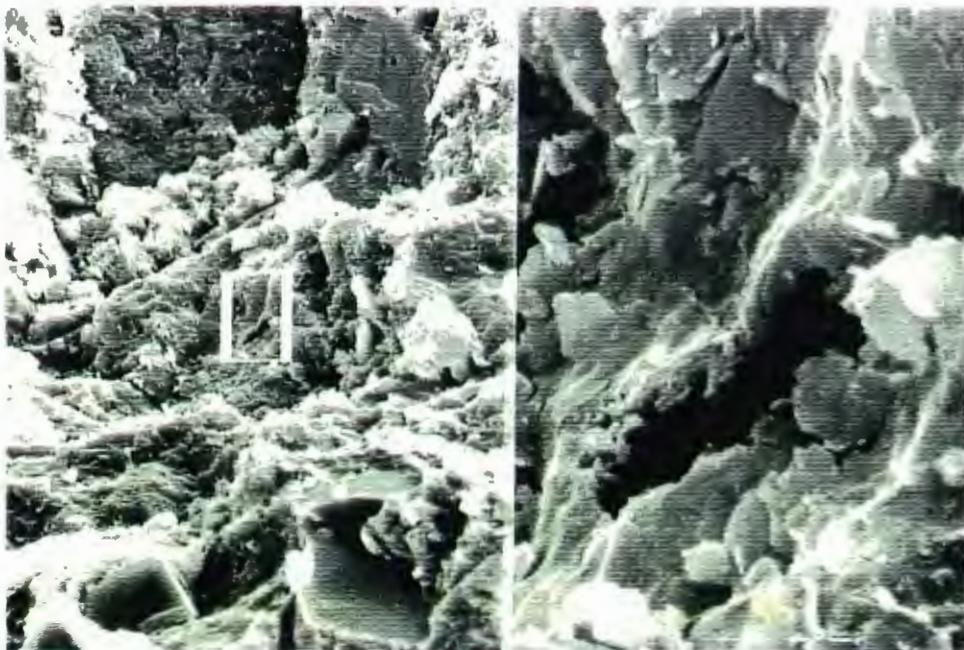


Abb. 22 400/4000-fache Vergrößerung
Intrapartikuläre Porosität in einem Quarzkorn. Die Poren-
wandung ist mit Ton belegt. Sehr dichte calcitische bis
mergelige Matrix.

Probe 3/150 54.15 - 54.21 Petrophysikalische Daten

Effektivporosität:	4.71 %
Totporosität:	0.00 %
Bulkdichte:	2.54 g/cm ³
scheinb. Korndichte:	2.67 g/cm ³
spez. Oberfläche:	4.54 m ² /g
Permeabilität:	< 4 x 10 ⁻³ mD

Bemerkungen: Die sehr geringe Effektivporosität, fehlende Totporosität und niedrige spezifische Oberfläche stimmen gut mit der im REM dargestellten intrapartikulären Porosität und der ermittelten niedrigen Permeabilität überein. Der Meßwert wurde bei einem Manteldruck von 250 bar und einem Fließdruck von 9.25 bar und 600 Sekunden Meßdauer als Einzelwert ermittelt, nachdem sich die Probe bei geringeren Drücken als dicht erwies.

Probe: 3/150 55.60 - 55.77

Modalbestand:
40 - 45% Quarz
10 - 15% Karbonat
45% Ton
2% Erz

Klassifikation: [REDACTED]: kTS; kalkiger, stark toniger Sandstein

Gefüge: Dichtes, durch Bioturbation geprägtes feinkörniges Gestein

Hauptgemengteile: Subangularer bis angerundeter siltiger Quarz, untergeordnet gleichkörniger Calcit und aufgearbeitete biogene Relikte befinden sich in einer tonigen Matrix mit nur einem geringen Anteil von Hellglimmern.
Der Quarz hat gelegentlich konkav-konvexe Kornkontakte, die suturiert sind.
Erz tritt als Brauneisenzement und kleinere Aggregate sowie Pyrit auf.

Akzessorien: Mikroklin, Plagioklas, Muskovit/Sericit

Porenraum: nicht erkennbar

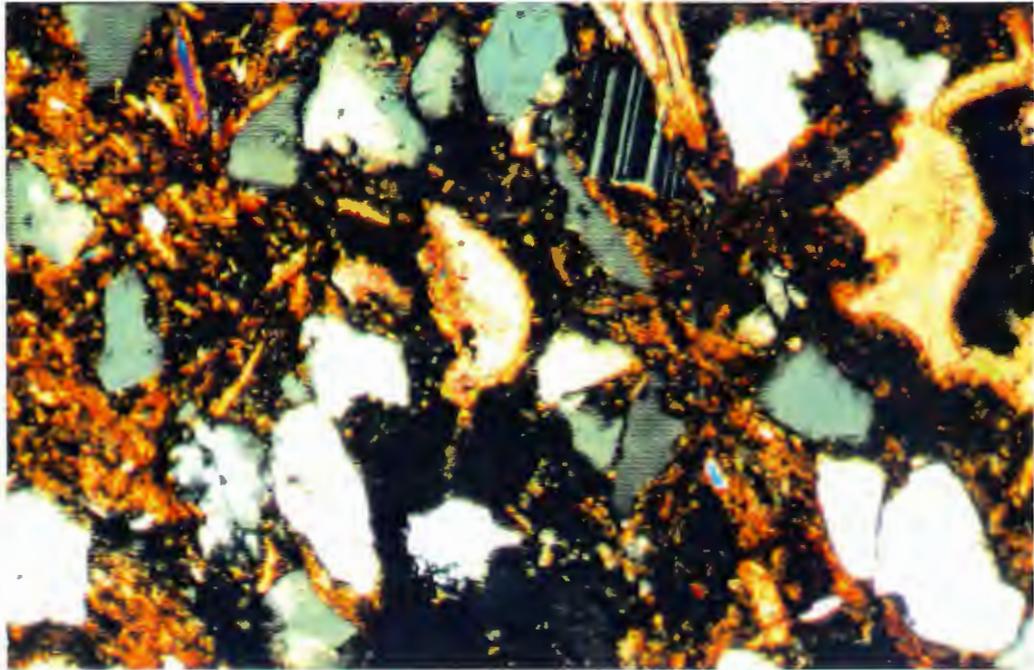


Abb. 23 X Nicols, 100-fache Vergrößerung Mollusckenreste, Plagioklas, Hellglimmer und Quarz in einer leicht mikritischen, tonigen Matrix. Plagioklas und Quarz werden durch den Mikrit angelöst. Undulöse Auslöschung und Drucklösungsstrukturen weisen auf Deformation hin.



Abb. 24 300/1500-fache Vergrößerung Quarzkörner mit Ton- und Salzverunreinigungen. Ausgeprägte sekundäre Porosität in Tonmergel-Lagen. Linke Porenwandung mit Tonen belegt (Si, Al, Fe, K, Mg); rechte Porenwand versalzen.

Probe 3/150 55.66 - 55.72 Petrophysikalische Daten

Effektivporosität:	11.72 %
Totporosität:	1.65 %
Bulkdichte:	2.35 g/cm ³
scheinb. Korndichte:	2.66 g/cm ³
spez. Oberfläche:	12.28 m ² /g
Permeabilität:	K _a 5.96 x 10 ⁻³ mD

Bemerkungen: Der angegebene Permeabilitätswert wurde bei 10 bar Manteldruck und 1 bar Fließdruck in mehreren Messungen ermittelt, nachdem sich das Gestein bei geringeren Fließdrücken als undurchlässig erwies. Bei Erhöhung des Manteldruckes drang Öl in den Probenkörper und konnte nicht erneut gemessen werden. Die ermittelte hohe Effektivporosität stimmt mit den optischen Eindrücken der REM-Aufnahme überein, während die große spezifische Oberfläche (Tongehalt der Probe 45 %) in dem gezeigten Ausschnitt aufgrund des Salzüberzuges nicht deutlich wird.

Probe: 3/150 58.02 - 58.15

Modalbestand: 45 - 50% Quarz
30 - 35% Karbonat (davon 5% biogen)
15 - 20% Ton
2% Erz

Klassifikation: [REDACTED] tKS; toniger, stark kalkiger Sandstein

Gefüge: Kompaktes bioturbat beanspruchtes Gestein, vereinzelt poikilitisches Gefüge, keine Einregelung

Hauptgemengteile: Siltiger Quarz, xenomorph bis hypidiomorph ausgebildet, ist überwiegend sparitisch, seltener poikilitisch zementiert. Vereinzelt sind tonige Schlieren enthalten.
Quarz löst Karbonat an und wird seinerseits von Karbonat angelöst. Undulöse Auslöschung des Quarzes und Drucklösungssuturen an konkav-konvexen Kornkontakten deuten auf starken Stress hin. Hellglimmer zwischen den Körnern sind häufig zerbrochen oder deformiert.
Vererzungsspuren sind als Zement und kleinere Brauneisenaggregate vertreten, sowie als idiomorpher Pyrit.

Akzessorien: Kalifeldspat mit Mikroklin- und Albitverzwilgung, Plagicklas, Epidot, Muskovit/Sericit, Chert

Porenraum: kein Porenraum erkennbar

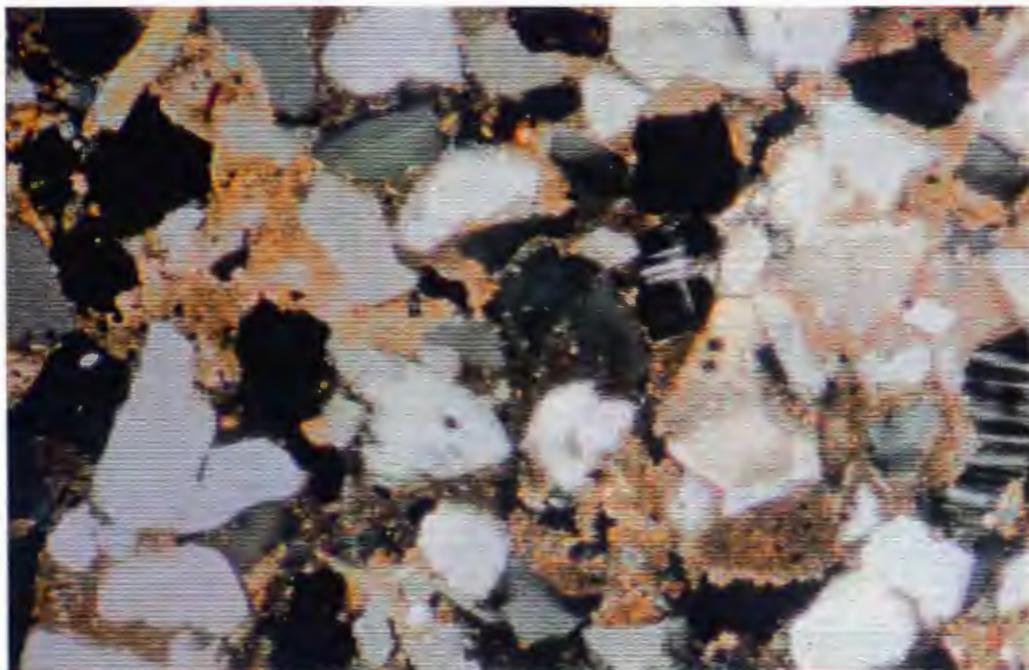


Abb. 25 X Nicols, 100-fache Vergrößerung
Kalifeldspat mit Mikroklin- und Albitverzwillingungen und
Quarz sind mikritisch-karbonatisch zementiert und werden
durch den Mikrit angelöst. Undulöse Auslöschung des Quarzes
weist auf Deformation hin.

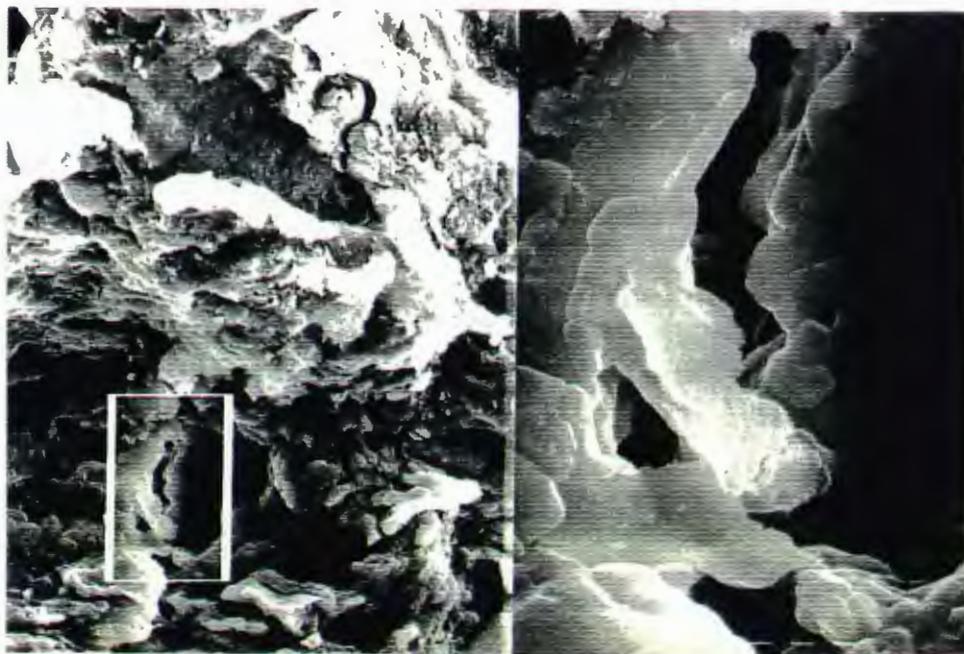
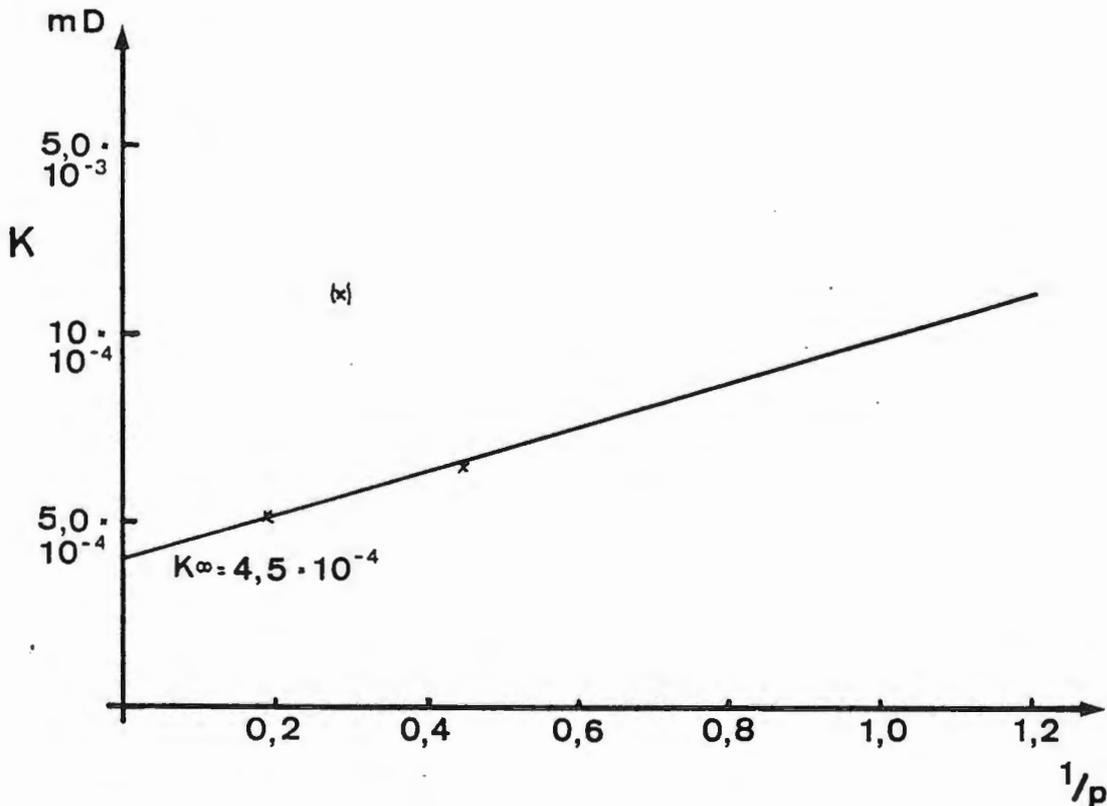


Abb. 26 400/2000-fache Vergrößerung
Lösungsporosität in Tonmergel-Lagen. Stark versalzen, sehr
hohe Fe-Anteile (-> Migration von Lösungen).

Probe 3/150 58.02 - 58.15 Petrophysikalische Daten

Effektivporosität:	11.65 %
Totporosität:	0.92 %
Bulkdichte:	2.35 g/cm ³
scheinb. Korndichte:	2.66 g/cm ³
spez. Oberfläche:	9.45 m ² /g
Permeabilität:	4.5 x 10 ⁻⁴ mD



Klinkenberg-Korrektur

Bemerkungen:

Bei einem Manteldruck von 10 bar und maximalen Fließdruck von 1 bar war keine Permeabilität meßbar, so daß sich erst bei Druckerhöhung bis zu 250 bar und einem maximalen Fließdruck von 9.25 bar Meßwerte ermitteln ließen. Die sehr geringe Permeabilität steht ebenfalls im Widerspruch zur hohen Porosität und läßt sich nur durch niedrige Poreneintrittsradien erklären, die möglicherweise durch Salzabscheidungen verringert sind. Die große spezifische Oberfläche ist durch den relativ hohen Tonanteil von ca. 20% bedingt.

Übersicht über die petrophysikalischen Daten der Bohrung 3/150

Proben-Nr. = Teufe	Effektiv- porosität [%]	Tot- porosität [%]	Bulkdichte [g/cm ³]	scheinbare Korndichte [g/cm ³]	spezifische Oberfläche [m ² /g]	Permeabilität [mD]
25.43 - 25.59	10.15	3.59	2.37	2.64	6.53	keine Messung
27.60 - 27.72	9.05	3.17	2.40	2.64	3.30	0.14
28.12 - 28.27	7.60	2.41	2.45	2.65	8.79	< 1.66 x 10 ⁻³
29.53 - 29.68	14.14	0.67	2.26	2.65	5.04	< 1.66 x 10 ⁻³
34.21 - 34.39	14.97	1.37	2.24	2.64	5.94	3 x 10 ⁻²
38.96 - 39.10	1.44	1.16	2.63	2.67	1.49	< 1.66 x 10 ⁻³
41.17 - 41.32	9.33	1.07	2.39	2.64	11.36	4.74 x 10 ⁻³
43.15 - 43.26	8.37	0.54	2.45	2.67	9.98	< 1.66 x 10 ⁻³
54.15 - 54.21	4.71	0.00	2.54	2.67	4.54	< 4 x 10 ⁻⁵
55.66 - 55.72	11.72	1.65	2.35	2.66	12.23	K _a < 5.96 x 10 ⁻³
58.02 - 58.15	11.65	0.92	2.35	2.66	9.45	4.5 x 10 ⁻⁴