



Physikalisch-Technische Bundesanstalt

DECKBLATT

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
	EU 044	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
	9K	3175.30	-	H	RB	0013	00

Titel der Unterlage:
 Felsmechanische Bohrungen: Durchführung begleitender petrophysikalischer Laboruntersuchungen

Seite:
I.

Stand:
15.04.86

Ersteller:
GSF

Textnummer:

Stempelfeld:

PSP-Element TP..... 9K/212243

zu Plan-Kapitel: 3.1.10.5

PL

PL

22.05.86

Freigabe für Behörden

Freigabe im Projekt

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 044	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Ltd. 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	3175.30	-	H	RB	0013	00

Titel der Unterlage: Felsmechanische Bohrungen: Durchführung begleitender petrophysikalischer Laboruntersuchungen	Seite: II.
	Stand: 15.04.86

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.

LV-Nr. 2219.12

AP-Nr. 4

Inhaltsverzeichnis

	Vorwort	
1	Zusammenfassung	1
2	Aufgabenstellung	2
3	Ergebnisse der Permeabilitäts-, Porositäts-, Gesteinsdichtemessungen und Kalkgehaltsbestimmungen	3
4	Darstellung der Untersuchungsergebnisse in Abhängigkeit von der Stratigraphie	8
4.1	Kimmeridge	8
4.2	Oxford	9
4.2.1	Oberer Korallenoolith	9
4.2.2	Mittlerer Korallenoolith	10
4.2.3	Unterer Korallenoolith	11
4.2.4	Heersumer Schichten	12
4.3	Callovium	12
5	Schlußbetrachtung	13
6	Experimenteller Teil	14
6.1	Probenahme	14
6.2	Probenvorbereitung	15
6.3	Durchführung der Untersuchungen	17
6.3.1	Reihenfolge der Untersuchungen	17
6.3.2	Permeabilitätsmessungen	18
6.3.3	Porositätsmessungen	20
6.3.4	Bestimmung der Gesteinsdichte	21
6.3.5	Kalkgehaltsbestimmungen	22
6.4	Anmerkungen	23
	Anlagenverzeichnis	25
	Literaturverzeichnis	26

Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH
Institut für Tieflagerung

Dipl.-Geol. XXXXXXXXXX

LV-Nr. 2219.12
Felsmechanische Bohrungen

AP-Nr. 4
Durchführung begleitender petrophysikalischer
Laboruntersuchungen

Braunschweig, den 15.04.1986

Der Bericht wurde im Auftrag der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) erstellt. Die PTB behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit Zustimmung der PTB zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

Er gibt die Meinung und Auffassung des Auftragnehmers wieder und muß nicht in jedem Fall mit der Meinung der PTB übereinstimmen.

- überarbeitete Fassung -

Vorwort

Im Auftrag der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) wurde von der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH (GSF) das felsmechanische Bohrprogramm in der Schachtanlage Konrad technisch überwacht und geowissenschaftlich betreut.

Entsprechend der Leistungsverzeichnisnummer 2219.12, Arbeitspaket 4, Stand vom 05.06.1984, wurden von der GSF 30 Proben für die weiterführenden petrophysikalischen Laboruntersuchungen ausgewählt und präpariert. Die beprobten Bohrkerne wurden in das Kernlager der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) nach Hannover überstellt.

Die petrophysikalischen Laboruntersuchungen wurden in der Zeit von Juni bis November 1984 im Unterauftrag schwerpunktmäßig von der Abteilung für Erdölgeologie der Technischen Universität Clausthal durchgeführt.

Die Kalkgehaltsbestimmungen wurden vom Institut für Grundbau und Bodenmechanik der Technischen Universität Braunschweig in der Zeit von Dezember bis April 1985 im Unterauftrag der GSF durchgeführt.

Die ermittelten petrophysikalischen Gesteinskennwerte und die entsprechenden Ergebnisse der felsmechanischen Untersuchungen (LV 2219.12, Arbeitspaket 3) sind tabellarisch in den anliegenden Faziesprofilen (Anlagen 3 - 7) zusammenfassend dargestellt.

1 Zusammenfassung

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse von Gesteinspermeabilitäten sind die Hangend- und Teile der Liegendsschichten des Unteren Erzlagers als mäßig bis sehr gering permeabel einzustufen. Die vereinzelt feuchten Mergelsteine des Kimmeridge weisen Gesteinspermeabilitäten zwischen 200 und 800 μd auf, während die dichten Kalksteinbänke Gesteinspermeabilitäten unter 1 μd haben.

Im Bereich des Oxford treten oolithische Kalksteine auf, die in geklüfteten Abschnitten feuchteführend sind. Die Gesteinspermeabilität liegt bei 45 bzw. 860 μd . Darunter sind trockene, tonige Mergelstein- und Kalksteinbänke ausgebildet. Erstere weisen eine Gesteinspermeabilität von 200 μd und letztere von 4 μd auf.

Die erzführenden , oolithischen Kalksteine (Erzkalke/Oberes Lager) haben eine Gesteinspermeabilität, die unter 1 μd liegt. Die Mergelsteine des sogenannten "Zwischenmittel" haben eine Gesteinspermeabilität von 10 μd .

Für den Eisenoolith des Unteren Lagers wurde eine Gesteinspermeabilität von 4 μd ermittelt.

Mit Gesteinspermeabilitäten von 1 μd weisen die oolithischen Kalksteine (Trümmerkalk) des Unteren Korallenoolith geringere Werte als die Tonsteine des nachfolgenden Mittleren Callovium (3 μd) auf.

2 Aufgabenstellung

Im Rahmen des felsmechanischen Bohrprogramms 1984 wurden in der Schachtanlage Konrad an drei verschiedenen Lokationen Kernbohrungen abgeteuft, mit dem Ziel, Probenmaterial aus dem Hangenden und dem Liegenden des Unteren Erzlagers für Festigkeitsuntersuchungen zu gewinnen.

Darüber hinaus wurde mit den Kernbohrungen die Möglichkeit geschaffen, Gesteinsmaterial aus Bereichen der Grube petrophysikalisch zu untersuchen, die durch den Bergbau hydrogeologisch weitgehend unbeeinflusst sind, da ansonsten durch die langfristige Bewetterung der Grube das Gebirge im streckennahen Bereich "ausgetrocknet" und durch Mineralabscheidungen in den Gesteinsporen sowie Oxydationsvorgängen nachhaltig hydraulisch verändert wird. Darauf weist insbesondere ein salzverkrusteter Streckenabschnitt auf der 1200 m Sohle im Bereich des Sumpfes 5/5 hin.

Stratigraphisch werden die gekernteten Bereiche den Stufen Kimmeridge, Oxford, und Callovium zugeordnet. Teile dieser stratigraphischen Abfolge sind durch die Ost-West verlaufenden Streckenabschnitte auf der 1200 m-, 1100 m und 1000 m Sohle aufgeschlossen.

Während für den Bereich des Unteren Erzlagers in den vergangenen Jahren eine Vielzahl von petrophysikalischen Kennwerten durch in situ- und Labormessungen [1] ermittelt wurden, liegen für die über- und unterlagernden petrographischen Einheiten nur Einzelergebnisse vor. Durch die Bestimmung der Gesteinspermeabilität, der Porosität, der Gesteinsdichte und des Karbonatgehaltes an dem Bohrkernmaterial sollten die einzelnen petrographischen Einheiten petrophysikalisch näher beschrieben und die vorliegenden Gesteinskennwerte ergänzt werden.

Neben den als gering permeabel eingestuften trockenen Formationen gilt das besondere Interesse den höher permeablen, z. T. feuchteführenden Formationen im Hangenden des Erzlagers.

Im Rahmen der Berechnung von Radionuklid-Ausbreitungsvorgängen sollen die petrophysikalischen Gesteinskennwerte dazu beitragen, das hydrogeologische Modell Konrad zu verfeinern.

Die korrespondierenden felsmechanischen Gesteinsparameter sind mit den petrophysikalischen Untersuchungsergebnissen in den Faziesprofilen (Anlage 3 - 7) zusammenfassend dargestellt.

3 Ergebnisse der Permeabilitäts-, Porositäts-, Gesteinsdichtemessungen und Kalkgehaltsbestimmungen

Tab. 3.1: Ergebnisse der petrophysikalischen Untersuchungen und Kalkgehaltsbestimmungen an Kernmaterial der Bohrungen 3/137 und 3/138

Probenbezeichnung	Teufe (m)	Gesteinsart	Permeabilität (md)	Porosität (%)	Gesteinsdichte (g/cm ³)	CaCO ₃ -Gew. %
3/137/003 PP1	15,25	Mergelstein	200 x 10 ⁻³	5,3	2,65	
3/137/003 PP2	15,35	Mergelstein	800 x 10 ⁻³	9,9	2,44	96,8/ 67*
3/137/003 PP3	15,45	Mergel-	410 x 10 ⁻³	10,7	2,50	
3/138/002 PP1	24,80	toniger Kalkstein	0,2 x 10 ⁻³	5,4	2,61	71*
3/138/004 PP1	34,40	Kalkstein (vererzt)	0,1 x 10 ⁻³	8,0	2,60	92,6/ 48*
3/138/006 PP1	43,60	Mergelstein	9 x 10 ⁻³	6,3	2,40	40,5/ 43*
3/138/008 PP1	60,80	Mergelstein	12 x 10 ⁻³	5,9	2,67	40,4/ 66*
3/138/010 PP1	68,90	Eisenoolith	4 x 10 ⁻³	2,0	3,11	23,4/ 17*

* Meßwert von LV 2219.12, AP 3

Tab. 3.2: Ergebnisse der petrophysikalischen Untersuchungen und Kalkgehaltsbestimmungen an Kernmaterial der Bohrung 3/139

Proben- bezeichnung	Teufe (m)	Ge- steins- art	Permeabilität (md)	Porosität (%)	Gesteins- dichte (g/cm ³)	CaCO ₃ - Gew. %
3/139/001 PP2	3,20	Kalk- erz	I ⁺	5,8	2,46	45,2/ 61*
3/139/003 PP1	23,15	Ton- stein, kalkig	II ⁺	3,6	2,59	45*
3/139/004 PP1	33,35	Mergel- stein	III ⁺	3,9	2,45	32,6/ 59*
3/139/005 PP1	39,65	Mergel- stein	1×10^{-3}	0,9	2,63	38,2/ 38*
3/139/006 PP1	45,15	Kalk- stein	$0,2 \times 10^{-3}$	0,8	2,63	73/ 87*
3/139/007 PP3	50,30	Kalk- stein	$0,3 \times 10^{-3}$	0,9	2,57	87,7/ 88*
3/139/009 PP1	62,40	Ton- stein	3×10^{-3}	10,5	2,33	14,8/ 14*

* Meßwert von LV 2219.12, AP 3

+ Das Gefüge des Prüfkörpers ist aufgelockert. Die ermittelte Permeabilität ist nach Angabe des Bearbeiters für das vorliegende Gesteinsmaterial wesentlich zu hoch (I: 19 md; II: 6 md; III: 91 md).

Tab. 3.3: Ergebnisse der petrophysikalischen Untersuchungen und Kalkgehaltsbestimmungen an Kernmaterial der Bohrung 5/95

Proben- bezeichnung	Teufe (m)	Ge- steins- art	Permeabilität (md)	Porosität (%)	Gesteins- dichte (g/cm ³)	CaCO ₃ - Gew. %
5/95/004a FM3	20,70	Mergel- stein, kalkig	(++)	5,7	2,43 ⁽²⁾	35,2/ 70*
5/95/005 PP1	23,40	Mergel- stein, kalkig	3	6,3 ⁽¹⁾	2,51	52*
5/95/007a FM5	37,60	Ton- mergel- stein	26 x 10 ⁻³	5,7 ⁽¹⁾	2,47	55*/ 73*
5/95/008 PP2	42,10	Ton- mergel- stein	(++)	9,1 ⁽¹⁾	2,46	36,2
5/95/010 PP1	55,15	Ton- stein	(+++)	3,3	2,61	11,6/ 31*

* Meßwert von LV 2219.12, AP 3

++ Kern zerfallen

+++ Wert unbrauchbar (vgl. Anlage 1)

1) Prüfkörper geklüftet

2) Wert nach Tauchmethode

Tab. 3.4: Ergebnisse der petrophysikalischen Untersuchungen und Kalkgehaltsbestimmungen an Kernmaterial der Bohrung 5/96

Proben- bezeichnung	Teufe (m)	Ge- steins- art	Permeabilität (md)	Porosität (%)	Gesteins- dichte (g/cm ³)	CaCO ₃ - Gew.%
5/96/002 PP7	15,50	Kalk- Mergel- stein	4×10^{-3}	6,9	2,47	52,2/ 71*
5/96/003 PP2	22,60	Mergel- stein	128×10^{-3}	3,4 ⁽¹⁾	2,64	66/ 76*
5/96/004 PP4	32,10	Erzkalk	$0,9 \times 10^{-3}$	5,4	2,57	89,1/ 68*
5/96/006 PP2	49,55	Kalk- Mergel- stein	4×10^{-3}	1,5	2,64	95,0/ 62*
5/96/007 PP1	63,10	Mergel- stein	210×10^{-3}	10,1 ⁽¹⁾	2,42	79/ 81*
5/96/007 PP2	63,15	Kalk- Mergel- stein	4×10^{-3}	2,8	2,57	
5/96/008 PP1	69,10	Kalk- stein	63×10^{-3}	6,7 ⁽¹⁾	2,54	92,0/ 88*
5/96/009 PP1	73,10	Kalk- stein	45×10^{-3}	-	-	89,5/ 88*
5/96/010 PP1	74,60	Kalk- stein	30×10^{-3}	7,3	2,50	91,3/ 87*
3. Sohle Hangend/ Faziesäquivalent		Kalk- stein	860×10^{-3}	11,4	2,40	
5/96/011 PP1	85,60	Mergel- stein	300×10^{-3}	7,5	2,51 ⁽²⁾	93,7/ 74*

* Meßwert von LV 2219.12, AP 3

1) Prüfkörper geklüftet

2) Wert nach Tauchmethode

4 Darstellung der Untersuchungsergebnisse in Abhängigkeit von der Stratigraphie

Die Hangendschichten des Unteren Lagers wurden durch die Bohrungen 3/137 und 3/138 sowie 5/96 und die Liegendschichten durch die Bohrungen 3/139 und 3/140 sowie 5/95 erbohrt. In diesem Kapitel werden die ermittelten Luftpermeabilitätswerte unter Nennung der zugehörigen effektiven Porositäts- und Gesteinsdichtewerte vom Hangenden zum Liegenden entsprechend der stratigraphischen Abfolge dargestellt.

Die vorliegenden petrophysikalischen Daten wurden an Einzelproben ermittelt. Der Erhaltungszustand dieser Proben und präparative Schwierigkeiten bei der Durchführung der Versuche können im Einzelfall den Meßwert beeinflusst haben. Unter Berücksichtigung dieser in Kapitel 6 diskutierten Einschränkungen, werden die Untersuchungsergebnisse nachfolgend den petrographischen Einheiten zugeordnet.

4.1 Kimmeridge

Die Schichten des Kimmeridge setzen sich aus Wechsellagen von Ton-, Mergel- und Kalksteinen zusammen. Lagenweise treten Anhydritbänke auf [1]. Bei 15,50 m wurde in der Bohrung 3/137 eine etwa 30 cm mächtige Feuchtezone erbohrt. Der Feuchtezutrag in dem Bohrloch betrug etwa 0,01 l/min [2].

Die ermittelten entsprechenden Gesteinspermeabilitäten des Mergelsteins liegen zwischen 200 und 800 μd , die Porositätswerte bei 5,3 bis 10,7 % und die Gesteinsdichten zwischen 2,44 und 2,65 g/cm^3 . Die Mergelsteinprobe aus der Bohrung 5/96/011 hat eine Permeabilität von 300 μd (Porosität: 7,5 %; Gesteinsdichte: 2,51 g/cm^3).

Eine Größenordnung geringer permeabel sind die kompakten, teilweise tonigen Kalksteinbänke. Bei vergleichbarer Porosität (5,4 %) und Gesteinsdichte ($2,61 \text{ g/cm}^3$) liegt die Gesteinspermeabilität der Kalksteinprobe 3/138/002 bei $0,2 \text{ } \mu\text{d}$.

4.2 Oxford

4.2.1 Oberer Korallenoolith

Die Schichten des Oberen Korallenoolith setzen sich aus oolithischen Kalksteinbänken und Mergel-Kalksteinbänken zusammen. Untergeordnet treten Tonsteinlagen auf.

Durch Schichtausfall (Störung) ist die entsprechende Gesteinsserie in der Bohrung 3/138 nicht aufgeschlossen. Im nach petrofaziellen Gesichtspunkten vermuteten Übergangsbereich vom Kimmeridge zum Oberen Korallenoolith tritt auf der 1000 m-Sohle/Hangendquerschlag eine Feuchtezone auf. Die Gesteinspermeabilität des oolithischen Kalksteins dieses tektonisch gestörten Bereiches beträgt $860 \text{ } \mu\text{d}$ (Porosität: 11,4 %; Gesteinsdichte: $2,4 \text{ g/cm}^3$). Abschnittsweise feuchteführend ist der geklüftete oolithische Kalkstein auch im Bereich der Bohrung 5/96. Der Feuchtezutrag im Bohrloch betrug etwa $0,2 \text{ l/min}$. Die Gesteinspermeabilität ist mit Werten zwischen 30 und $63 \text{ } \mu\text{d}$ (Porosität: 6,7 - 7,3 %; Gesteinsdichte: $2,5 - 2,54 \text{ g/cm}^3$) geringer als auf der o. g. 1000 m-Sohle. Als Kluffbelag wurden Zinkblende und Coelestinkristalle festgestellt [3].

Eine höhere Permeabilität weist die trockene Mergelsteinprobe 9/96/007 mit 210 μd auf (Porosität: 10,1 %; Gesteindichte: 2,42 g/cm^3).

Die ebenfalls trockene Mergel-Kalksteinprobe (5/96/006) hat eine Permeabilität von 4 μd (Porosität: 1,5 %; Gesteinsdichte: 2,64 g/cm^3).

4.2.2 Mittlerer Korallenoolith

Die Schichten des Mittleren Korallenoolith setzen sich aus Folgen von Mergelstein- und Kalksteinlagen, die teilweise erzführend sind, zusammen. An der Basis des Mittleren Korallenoolith ist das Untere Lager als Eisenoolithbank ausgebildet.

Gering permeabel sind die erzführenden, meist oolithischen Kalksteinlagen (Erzkalk). Sowohl die Gesteinspermeabilität der Probe 5/96/004 (Permeabilität: kleiner 0,9 μd ; Porosität: 5,4 %; Gesteinsdichte: 2,57 g/cm^3) als auch der Probe 3/138/004 (Permeabilität: 0,1 μd ; Porosität: 8 %, Gesteinsdichte: 2,60 g/cm^3) liegt unter 1 μd .

Auch die Mergelsteinproben 3/138/006 und 008 sind mit Gesteinspermeabilitäten um 10 μd (Porosität: 5,9/6,3 %; Gesteinsdichte: 2,4/2,67 g/cm^3) noch als gering permeabel einzustufen. Abweichend davon weist die Mergelsteinprobe 5/96/003 eine Gesteinspermeabilität von 128 μd auf. Die relativ geringe Porosität von 3,4 % und makroskopisch erkennbare Klüfte am Prüfkörper lassen vermuten, daß die ermittelte Permeabilität zu hoch ist (vgl. Kap. 6). Die Kalk-Mergelsteinprobe 5/96/002, der Probenahmepunkt liegt etwa 8 m über dem Unteren Lager, hat eine Gesteinspermeabilität von 4 μd (Porosität: 6,9 %; Gesteinsdichte: 2,47 g/cm^3).

In früheren Untersuchungen [1] (GSF-Abschlußbericht, Kap. B2, S. 11) wurden für diese petrographische Einheit Gesteinspermeabilitäten von kleiner 10 μd ermittelt.

Für die petrographische Einheit Eisenoolith wird in derselben Quelle ein Wertebereich für Gesteinspermeabilitäten von 10 - 150 μd angegeben.

Die Eisenoolithprobe 3/138/010 liegt mit einer ermittelten Gesteinspermeabilität von 4 μd (Porosität: 2 %, Gesteinsdichte: 3,11 g/cm^3) unterhalb des o. g. Wertebereiches.

4.2.3 Unterer Korallenoolith

Die Schichten des Unteren Korallenoolith setzen sich aus Erzkalkbänken mit Tonsteinlagen, kalkigen Tonsteinen (Mergelsteinen), Wechselfolgen von feinschichtigen Ton- und Kalksteinlagen, mergeligen oolithischen Kalksteinen und kompakten oolithischen Kalksteinen zusammen. Im unteren Teil des Unteren Korallenoolith ist ein Fazieswechsel von der Lokation 3/139 + 140 zur Lokation 5/95 festzustellen. Die in der Bohrung 3/139 noch mit etwa 15 m aufgeschlossene Serie von kompakten oolithischen Kalksteinen (Trümmerkalkserie) ist in der Bohrung 5/96 durch einzelne, dezimetermächtige oolithische Kalksteinlagen vertreten.

Für die petrographischen Einheiten Erzkalk und kalkiger Tonstein wurden keine belastbaren Gesteinspermeabilitäten ermittelt. Die Gesteinspermeabilitäten der Proben 3/139/001, 003 und 004 liegen im md-Bereich und sind auf den hohen sekundären Auflockerungsgrad des Gesteinsgefüges zurückzuführen (vgl. Tab. 2). Daß die Werte zu hoch sind, darauf weist auch der Gesteinspermeabilitätswert der Tonmergelsteinprobe 5/96/007a mit 26 μd (Porosität: 5,7 %; Gesteinsdichte: 2,47 g/cm^3) hin. Die kompakten oolithischen Kalksteine (Trümmerkalkserie) weisen Gesteinspermeabilitäten von 0,2 bis 1 μd auf (Porosität: 0,8/0,9 %; Gesteinsdichte: 2,57 - 2,63 g/cm^3).

4.2.4 Heersumer Schichten

Die Heersumer Schichten sind nach den Ergebnissen der stratigraphischen Untersuchungen [4] an den Lokationen 3/139 und 5/95 nicht ausgebildet. Damit entfällt die Betrachtung dieser Schichtenfolge als petrographische Einheit in diesem Bereich der Schachtanlage Konrad.

4.3 Callovium

Die Schichten des Callovium werden überwiegend von dunkelgrauen Tonsteinen mit wechselnden Kalk- und Sandanteilen aufgebaut. Die Gesteinspermeabilität der kalkigen Tonsteinprobe 3/139/009 beträgt 3 μd (Porosität: 10,5 %; Gesteinsdichte: 2,33 g/cm^3).

Die Tonsteinprobe 5/95/010 brachte keine brauchbaren Permeabilitätsergebnisse (vgl. Anlage 1).

5 Schlußbetrachtung

Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse weisen auf eine geringe Gesteinsdurchlässigkeit der Hangend- und Liegendsschichten hin, wie sie auch in früheren Untersuchungen [1] ermittelt wurde. Ausgenommen von dieser Einstufung sind relativ geringmächtige Lagen, die eine mäßige (md-Bereich) Gesteinsdurchlässigkeit aufweisen und im Extremfall feuchteführend sind.

Die Untersuchungen an den Gesteinen aus den direkten Liegendsschichten des Unteren Lagers sind aufgrund der wenigen vorliegenden Ergebnisse und des schlechten Erhaltungszustandes der Proben als nicht zufriedenstellend zu bewerten.

Es wird daher angeregt, weitere petrophysikalische Untersuchungen an diesen Gesteinsschichten durchzuführen, zumal die vorliegenden Werte Einzelergebnisse darstellen, die statistisch nicht abgesichert sind.

6 Experimenteller Teil

6.1 Probenahme

Die Bohrkerne wurden trocken, d. h. mit Luftspülung, erbohrt. Nach Entnahme aus dem Kernrohr und der geologischen Aufnahme wurden die Kerne in Schlauchfolie eingeschweißt. Eine nachträgliche Entwässerung der Kerne konnte nicht beobachtet werden. Es bildete sich kein Kondenswasser in der Schlauchfolie. Dagegen neigten zahlreiche Kernstrecken zum Zerfallen bei leichter mechanischer Beanspruchung (z. B. Transport). Aus technischen Gründen wurde die Kernstrecke 69 bis 87,50 m der Bohrung 5/96 mit einer Süßwasserspülung, die sehr schnell versalzte, gekernt. Bei ca. 69 - 73 m wurde ein Zufluß von Formationswasser festgestellt.

Nach der Probenauswahl und -entnahme wurden die Probenstücke wieder in Plastikfolie verpackt.

Die anzahlmäßig überwiegend mit einem Bohrerndurchmesser von 50 mm erbohrten Kerne wurden mit einer CONRAD-Gesteinssäge auf eine Länge zwischen 45 und 50 mm planparallel ohne den Einsatz von Spül-/Kühlmitteln abgeglichen. Aus Bohrkernen mit einem Durchmesser von 116 bis 142 mm wurden Prüfkörper mit einem Durchmesser von 50 mm auf der Drehbank herauspräpariert und dann auf die Länge von 50 mm abgeglichen. Auch diese Arbeiten erfolgten ohne den Einsatz von irgendwelchen Kühlmitteln. Danach wurden die Prüfkörper wieder in Plastikfolie verpackt und den Unterauftragnehmern zur weiteren Bearbeitung überstellt (Tab. 5).

6.2 Probenvorbereitung

Aus versuchstechnischen Gründen wurden für die Permeabilitätsmessungen die Prüfkörper Nr. 1 - 17 in Araldit eingebettet (Ausschaltung von Randpermeabilitäten).

Die Einbettung in Araldit verlief in folgenden Schritten:

Nach Auftragen einer hochviskosen Schicht aus Araldit AV 121 N, die auf Grund ihrer Konsistenz nicht in den Porenraum der Prüfkörper eindringen kann, wurde der Kern in Araldit D eingegossen. Als äußere Form diente ein PVC-Rohr. Die Stirnfläche der Prüfkörper wurden auf der Drehbank freigelegt.

Nach technischer Verbesserung der Versuchsanordnung wurde von einer Einbettung der Proben Nr. 18 - 31 abgesehen. Die Verbesserung bestand aus einem Austausch der relativ steifen Gummimanschette der Hassler-Zelle durch eine gut abdichtende Silikonmanschette (vgl. 6.3.2).

Für die Bestimmung der Gesteinsdichte wurden aus den Prüfkörpern mit Hilfe eines Diamantbohrers Plugs mit einem Durchmesser von 30 mm unter Verwendung einer Wasserspülung gebohrt. Mit einer Diamantsäge wurden alle Plugs auf eine Länge von ca. 30 mm abgeglichen.

Die Kalkgehaltsbestimmung erfolgte an mechanisch vorzerkleinertem und mit der Kugelmühle gemahlenem Probenmaterial.

Tab. 5: Zusammenstellung der untersuchten Prüfkörper

Fortlau- fende Nr.	Probenbezeichnung				Spülung	Gestein	
	(1)	(2)	(3)	(4)			(5)
1	3	137	003	PP	1	Luft	feucht
2	3	137	003	PP	2	"	"
3	3	137	003	PP	3	"	"
4	3	138	002	PP	1	"	trocken
5	3	138	004	PP	1	"	"
6	3	138	006	PP	1	"	"
7	3	138	008	PP	1	"	"
8	3	138	010	PP	1	"	"
9	3	139	001	PP	2	"	feucht
10	3	139	003	PP	1	"	trocken
11	3	139	004	PP	1	"	"
12	3	139	005	PP	1	"	"
13	3	139	006	PP	1	"	"
14	3	139	007	PP	3	"	"
15	3	139	009	PP	1	"	"
16	5	95	004a	FM	3	"	"
17	5	95	005	PP	1	"	"
18	5	95	007a	FM	5	"	"
19	5	95	008	PP	2	"	"
20	5	95	010	PP	1	"	"
21	5	96	002	PP	7	"	"
22	5	96	003	PP	2	"	"
23	5	96	004	PP	4	"	"
24	5	96	006	PP	2	"	"
25	5	96	007	PP	1	"	"
26	5	96	007	PP	2	"	"
27	5	96	008	PP	1	"	feucht
28	5	96	009	PP	1	Wasser	"
29	5	96	010	PP	1	"	trocken
30	5	96	011	PP	1	"	"
31	Einzelprobe von der 3. Sohle / Hangendquerschlag						

(1) Nr. der Sohle, auf der die Bohrung niedergebracht wurde

(2) fortlaufende Bohrungs-Nr. auf der jeweiligen Sohle

(3) fortlaufende Probenahme-Nr.

(4) Bezeichnung der Prüfkörper PP = Porosität/Permeabilität

FM = Fels-Mechanik

(5) Prüfkörper-Nr. aus einem Probenahmebereich

6.3 Durchführung der Untersuchungen

Die petrophysikalischen Untersuchungen wurden von der Abteilung für Erdölgeologie der Technischen Universität Clausthal durchgeführt.

Die Ermittlung des Kalkgehaltes erfolgte durch das Institut für Grundbau der Universität Braunschweig.

6.3.1 Reihenfolge der Untersuchungen

Durch die Aufbereitungstechnik war die Reihenfolge der Untersuchungen an den Proben 1 - 17 wie folgt festgelegt:

- Messung der Effektivporosität nach der Tauchmethode
- Einbettung des Prüfkörpers
- Messung der Permeabilität
- Herstellung eines Plugs/30x30 mm (Bestimmung der Gesteinsdichte)

Die Reihenfolge der Untersuchungen an den Proben 18 - 31 war nach Umrüsten der Versuchsanlage:

- Messung der Permeabilität
- Herstellen eines Plugs/30x30 mm (Gesteinsdichte)
- Messung der Effektivporosität nach der Tauchmethode

Abweichungen in der Meßreihenfolge sind für jede einzelne Probe in der Ergebnistabelle aufgeführt.

Die Ermittlung des Kalkgehaltes erfolgte parallel zu den petrophysikalischen Untersuchungen an gesondert genommenen Einzelproben des jeweiligen Probenahmepunktes.

6.3.2 Permeabilitätsmessungen

Für die Untersuchung der Prüfkörper mit Originalbohrkerndurchmesser von 50 mm stand eine Hasslerzelle zur Verfügung. Es handelt sich dabei um einen Druckbehälter für einen Innendruck bis zu 100 bar, der in der Lage ist, Kerne mit einem Durchmesser bis zu 200 mm und einer Länge bis zu 300 mm aufzunehmen. Im Deckel des Behälters befinden sich Anschlüsse für den Manteldruck und den Fließdruck. An der Seite des Behälters kann über ein Sichtfenster die Lage des Kernes kontrolliert werden.

Im Behälter befindet sich eine Silikonmanschette mit den dazu passenden Endstücken, von denen eines fest mit dem Deckel verbunden ist, das andere Endstück dagegen steht frei und kann daher den Manteldruck auch in Längsrichtung auf den Kern weitergeben (triaxialer Druck).

Die automatisierte Regelung von Anpreßdruck und Fließdruck für die hier vorliegenden Messungen erfolgte über ein mit Präzisionsmanometern (analog: Güteklasse 0.6 und zusätzlich digital) nachgerüstetem ECS-Permeameter.

Für Standardmessungen findet die Ermittlung der Durchflußrate mit einem Durchflußmesser nach dem Seifenblasenprinzip (Membrandurchflußmesser) statt, für Messungen an Kernen mit sehr niedriger Permeabilität stehen zusätzlich noch Luftauffanggefäße zur Verfügung. Die Genauigkeit des Durchflußmessers beträgt:

Durchflußmenge	Skalenteilung
4 cm ³	0.2 cm ³
20 cm ³	1.0 cm ³
100 cm ³	10.0 cm ³

Die Durchflußzeit wird mit einer Stoppuhr (Skalenteilung 0,1 sec) gemessen.

Bei den vorliegenden Untersuchungen lag der Manteldruck (Druck der Hasslerzelle auf den Kern) bei 10 bar \pm 1 bar und der Fließdruck zwischen 0.005 bar und 0.7 bar.

Für jeden Kern wurde die Durchflußrate bei mindestens drei verschiedenen Fließdrücken ermittelt (je Fließdruck drei Wiederholungsmessungen), wobei die Wahl des angelegten Fließdruckes nach den ermittelten Durchflußraten stattfand.

Um mögliche Undichtheiten in der Hasslerzelle sichtbar zu machen, fand die Messung im wassergefüllten Behälter statt. Als Fließmedium wurde Luft gewählt.

Die Auswertung der Messungen fand nach dem Gesetz von DARCY statt:

$$K = \frac{1000 \times 4 \times L \times \eta}{d^2 \times \pi} \times \frac{Q/t}{(1+\Delta p/2) \times \Delta p} \quad (1)$$

mit	K	Permeabilität (md)
	η	Viskosität d. Fließmediums (cP), hier: 0.01799 cP
	L	Länge des Kernes (cm)
	d	Durchmesser des Kernes (cm)
	Q	Durchflußmenge (cm ³)
	t	Zeit (sec)
	Δp	Differenzdruck (bar)
	(1+ $\Delta p/2$)	Korrektur für Gasmessungen

Um von der Differenzdruck-abhängigen Luftpermeabilität zu einem einheitlichen Wert zu kommen, fand eine graphische KLINKENBERG-Korrektur der Werte statt:

Die gemessenen Permeabilitäten wurden auf der Y-Achse gegen den Kehrwert des Differenzdruckes (X-Achse) aufgetragen. Soweit nicht anders bei den Kernbeschreibungen vermerkt, wurde eine Ausgleichsgerade durch die Meßwerte gelegt, deren Durchstoßpunkt durch die Y-Achse die KLINKENBERG-korrigierte Permeabilität angibt. Dieser Wert ist in die Übersichtstabelle eingetragen.

Alle Messungen fanden an getrockneten Kernen statt (Trocknungszeit 24 Stunden bei 60 °C).

6.3.3 Porositätsmessungen

Die Messung der Porosität nach der Tauchmethode fand weitgehend nach G. MÜLLER (1964) [5] statt. Abweichend davon wurden folgende Versuchsbedingungen eingehalten:

- Die Tränkungszeit wurde von 15 min auf ca. 6 Stunden erhöht, um eine vollständige Füllung aller erreichbaren Poren zu gewährleisten.
- Als Tränkungsflüssigkeit diente Isopropanol anstelle von Tetrachlorkohlenstoff, da ersterer wesentlich weniger gesundheitsschädlich ist.
- Um die Probe nicht mit Quecksilber unbrauchbar zu machen, fand keine gesondere Bestimmung des Gesamtvolumens statt. Das Gesamtvolumen ergibt sich aus den gemessenen Matrix- und Porenvolumen.

6.3.4 Bestimmung der Gesteinsdichte

Der Wert der Gesteinsdichte ergibt sich aus der Beziehung:

$$\sigma_{\text{Bulk}} = \frac{\text{Trockengewicht}}{\text{Gesamtvolumen}} \quad (\text{g/cm}^3) \quad (2)$$

Die Messung des Trockengewichtes des Prüfkörpers/Plugs erfolgte nach Trocknung der Probe über 24 Stunden bei 60 °C. Die Bestimmung des Gesamtvolumens wurde wie folgt durchgeführt:

Nach Trockenwägung wurden die Plugs in erwärmtes Paraffin getaucht, um ihre Oberfläche mit einer dicken Paraffinschicht zu verschließen. Das Paraffin härtet an der kalten Probe sehr schnell aus, bevor es in den Porenraum eindringen kann.

Durch erneute Wägung nach Erkalten des Paraffins ist bei bekannter Dichte des Wachses (0.922 g/cm³, wird in regelmäßigen Abständen kontrolliert) auch sein Volumen bestimmbar:

$$V_{\text{Par}} = \frac{m_2 - m_1}{0.922} \quad (3)$$

mit m_1 : Masse der Probe (g)
 m_2 : Masse Probe + Paraffin (g)

Das Volumen $V_{\text{Ges+Par}}$ wurde in einem Beckmann-Pyknometer, dessen Genauigkeit vor jeder Meßreihe geprüft wird, bestimmt. Die Meßdauer betrug ca. 10 min je Kern.

$$\text{Gesamtvolumen} = V_{\text{Ges+Par}} - V_{\text{Par}} \quad (4)$$

In einigen Fällen (vgl. Tab. 3.3 u. 3.4) wurde für die Ermittlung der Gesteinsdichte das Gesamtvolumen aus den in der Tauchwägung ermittelten Werten bestimmt.

6.3.5 Kalkgehaltsbestimmungen

Die Ermittlung des Kalkgehalts erfolgte nach der Arbeitsanweisung für Bodenuntersuchungen von SCHULZE & MUHS (1967) [6].

Zur quantitativen Bestimmung des Kalkgehaltes diente ein SCHEIBLER-Gerät.

Aufgrund der relativ hohen Karbonatgehalte der Gesteine wurde jeweils 0,5 (1,0) g des gemahlten Ausgangsmaterials für die Kalkgehaltsbestimmung verwendet. Der in den Tabellen in Prozent ausgedrückte Karbonatanteil bezieht sich auf das Trockengewicht der Gesteinsprobe.

6.4 Anmerkungen

Nach Darstellung der Abteilung für Erdölgeologie ist das Probenmaterial für die petrophysikalischen Untersuchungen als "nicht optimal geeignet" anzusehen.

- Insbesondere die stärker tonhaltigen Proben unterliegen einer Volumenänderung durch Trocknung und Druckentlastung. Hierbei entstehen Klüfte, die sich mit der Dauer der Lagerung verstärken und zu Fehlern bei der Messung führen. In Einzelfällen war zu beachten, daß diese Risse nicht durch die gesamte Probe durchgehen und daher die gemessenen Werte am Großkern und am Plug unterschiedlich stark beeinflussen.
- Das trockene Bohren der Kerne, durch das die Tonminerale geschont werden sollen, führt andererseits zu Verstopfungen der oberflächennahen Poren.

Beide hier erwähnten Störfaktoren wirken sich auf die Porositäts- und Permeabilitätsmessung in verschiedenem Maße aus:

- Die Klüfte (es ist hier dahingestellt, ob es sich um im Gebirge angelegte Entlastungsrisse oder um präparativ - durch Trocknung entstandene - Risse handelt) werden teilweise beim Anlegen des Manteldruckes von 10 bar geschlossen, beim Tränken der Probe aber sichtbar geweitet.
- Die verstopften Poren können sich beim Anlegen des Fließdruckes schließen, da Bohrmehl in die engen Kapillaren dringt.
- Weiterhin sollte noch erwähnt werden, daß das Gesetz von DARCY für Kluftpermeabilitäten nur begrenzt gültig ist.

Es werden hier mit Absicht nur Beispiele für Proben genannt, für die die Störfaktoren mit Sicherheit zutreffen. Bei weiteren Proben ist dies ebenfalls zu erwarten, obwohl sie keine makroskopisch sichtbaren Risse oder verklebte Oberflächen aufweisen.

Es wird weiter darauf hingewiesen, daß die Versuche zur Messung der Luftpermeabilität und der Porosität nach der Tauchmethode stark abhängig von den Versuchsbedingungen sind. Reproduzierbare Ergebnisse können daher nur erwartet werden, wenn die hier angegebenen Versuchsbedingungen exakt eingehalten werden. Ferner weisen wir darauf hin, daß auf Grund von probenspezifischen Eigenschaften die Meßergebnisse einiger Proben nur bedingt mathematisch/physikalisch nach dem heutigen Kenntnisstand verknüpfbar sind.

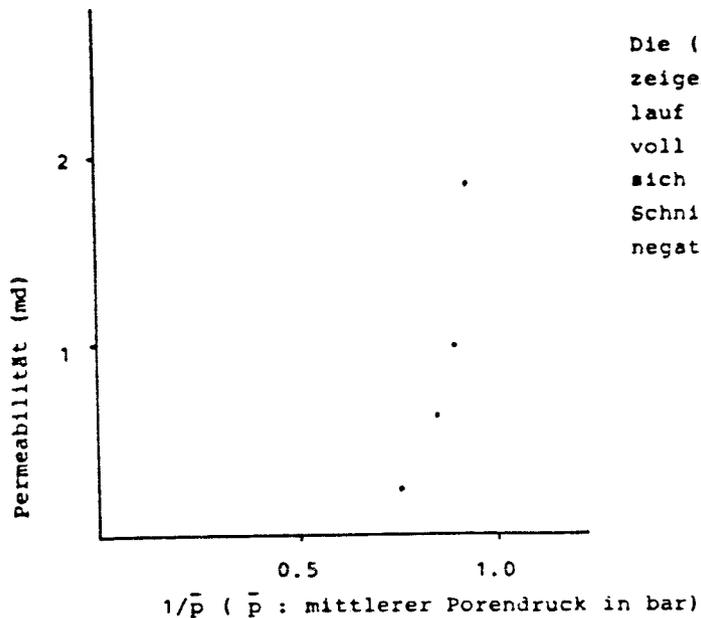
Literaturverzeichnis

- [1] GSF-Abschlußbericht: Eignungsprüfung der Schachtanlage Konrad für die Endlagerung radioaktiver Abfälle. - Hrsg. Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München, GSF-T 136, 1982.
- [2] Zusammenfassendes Schichtenverzeichnis der Bohrung 3/137 und 3/138. - Anlage zur TA 2219.12, Arbeitspaket 1.
- [3] Mineralogischer Untersuchungsbericht der Bohrung 5/96. - Anlage zur TA 2219.12, Arbeitspaket 3.
- [4] Stratigraphischer Untersuchungsbericht des NLF über die Bohrungen 3/139 und 5/95. - Anlage zur TA 2219.12, Arbeitspaket 1.
- [5] G. MÜLLER: Methoden der Sedimentuntersuchung. - Bd. 1, Stuttgart 1964.
- [6] SCHULZE & MUHS: Bodenuntersuchungen für Ingenieurbauten. Zweite Auflage, Springer Verlag, 1967.

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Meßwertdiagramm des Permeabilitätsversuches an der Probe 5/95/010 PP1
Anlage 2	Legende zu den Anlagen 3 bis 7
Anlage 3	Fazies- und Datenprofil der Bohrungen 3/137 und 3/138
Anlage 4	Fazies- und Datenprofil der Bohrung 3/139
Anlage 5	Fazies- und Datenprofil der Bohrung 3/140
Anlage 6	Fazies- und Datenprofil der Bohrung 5/95
Anlage 7	Fazies- und Datenprofil der Bohrung 5/96

Probe 5/95/010 pp 1



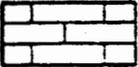
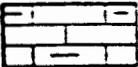
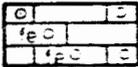
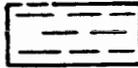
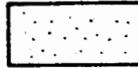
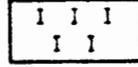
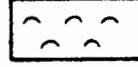
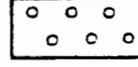
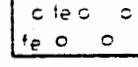
Bei folgenden Proben erschien die Permeabilität, bedingt durch Auflockerung der Kerne, als wesentlich zu hoch :

Probe 3/139/001 pp 2 : 19 md
Probe 3/139/003 pp 1 : 6 md
Probe 3/139/004 pp 1 : 91 md

Es muß davon ausgegangen werden, daß präparativ entstandene Risse die Werte verfälschen.

Anlage 1

LEGENDE :

	Kalkstein	<u>Symbol</u>	
	Kalkstein, tonig	○	Messwerte
	Kalkstein, erzführend	←	Messwerte außerhalb des Wertebereiches
	Eisenoolith (Unteres Lager)	—	Bandbreite der Messwerte
	Mergelstein, Tonmergelstein Mergeltonstein	+/x	Messwert aus TA 2219.12 AP 3
	Tonstein	MW	Mittelwert
	feinsandig	$\frac{_}{S}$	Standardabweichung
	Pyrit		
	kalkig		
	Kalk-Konkretionen		
	Schalendetritus		
	Ooide		
	Fe-Ooide		
	Toneisenstein-Konkretionen		

