



# Physikalisch-Technische Bundesanstalt

## DECKBLATT

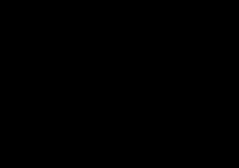
| Projekt | PSP-Element | Obj. Kenn. | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev.    |
|---------|-------------|------------|---------|----|----------|---------|
|         |             |            |         |    |          |         |
| EU 059  | 9K          | 34545.31   | -       | HA | RB       | 0003 00 |

|  |          |
|--|----------|
| Titel der Unterlage:<br>Durchführung von petrophysikalischen Laboruntersuchungen,<br>Mitarbeit an geowissenschaftlichen Erkundungsprogrammen | Seite:   |
|  | I.       |
|  | Stand:   |
|  | 21.08.86 |

|            |             |
|------------|-------------|
| Ersteller: | Textnummer: |
| GSF        |             |

Stempelfeld:

|                                |                          |
|--------------------------------|--------------------------|
| PSP-Element TP.....: 9K/212231 | zu Plan-Kapitel: 3.1.9.1 |
|--------------------------------|--------------------------|

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | PL<br>16.09.86<br><br>Freigebe für Behörden | PL<br>16.09.86<br><br>Freigebe 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



|        |         |                     |             |           |     |          |      |
|--------|---------|---------------------|-------------|-----------|-----|----------|------|
|        | 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 059 | 9K      | 34545.31            | -           | HA        | RB  | 0003     | 00   |

|  |                        |
|--|------------------------|
| Titel der Unterlage:<br><br>Durchführung von petrophysikalischen Laboruntersuchungen,<br>Mitarbeit an geowissenschaftlichen Erkundungsprogrammen | Seite:<br><br>II.      |
|  | Stand:<br><br>21.08.86 |

| 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.

Untersuchungsbericht

2222.02 AP2

Durchführung von petrophysika-  
lischen Laboruntersuchungen

Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München  
Institut für Tieflagerung

Dipl.-Geol. XXXXXXXXXX

LV-Nr. 2222.02

Mitarbeit geowissenschaftliches Erkundungsprogramm

AP-Nr. 2

Durchführung von petrophysikalischen Laboruntersuchungen

Braunschweig, d. 21.08.1986

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.

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

## Inhaltsverzeichnis

Seite

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1   | Einleitung  | 1  |
| 2   | Probennahme und Präparation der Proben                | 2  |
| 3   | Mineralogische und petrophysikalische Untersuchungen  | 5  |
| 3.1 | Röntgenbeugungs-Untersuchungen                        | 5  |
| 3.2 | Bestimmung der spezifischen Oberfläche                | 6  |
| 3.3 | Gas-Permeabilitätsbestimmungen                        | 7  |
| 3.4 | Ermittlung der effektiven Porosität                   | 8  |
| 3.5 | Berechnung der Bulk- und Matrixdichte                 | 8  |
| 3.6 | Kalkgehaltsbestimmung                                 | 9  |
| 4   | Tabellarische Darstellung der Untersuchungsergebnisse | 9  |
| 5   | Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse           | 14 |
|     | Anlagenverzeichnis                                    | 17 |
|     | Literaturverzeichnis                                  | 34 |

## 1 Einleitung

Im Rahmen der untertägigen Erkundung der Schachtanlage Konrad wurden petrophysikalische Untersuchungen an Bohrkernen der Bohrungen 3/142 und 4/110 durchgeführt. Die Untersuchungen erfolgten in der Zeit vom März 1985 bis April 1986.

Nach Vorgabe der BUNDESANSTALT für GEOWISSENSCHAFTEN und ROHSTOFFE wurden 13 Kernstrecken als Probennahmepunkte festgelegt. Von der Ausschöpfung des vollen Leistungsumfanges, wie in der Leistungsvereinbarung zwischen PTB und GSF vom 04.05.1984 beschrieben, wurde aufgrund der Beendigung des Erkundungsprogramms Konrad mit dem 31.12.1985 auf Weisung der PTB Abstand genommen.

Neben der petrographischen Erfassung der Gesteinsfazies ausgewählter Kernstrecken und deren petrophysikalische Ausbildung dienen die Untersuchungen der Charakterisierung und Interpretation von felsmechanischen Gesteinskennwerten.

Die Ergebnisse der petrophysikalischen Laboruntersuchungen sind in dem vorliegenden Bericht unter Berücksichtigung der mittleren Druckfestigkeiten der Gesteine tabellarisch aufgeführt.

Als Anhang sind dem Bericht die Beschreibungen der Bohrkern (P + S, Schachtanlage Konrad) beigefügt.

## 2 Probennahme und Präparation der Proben

Im Rahmen der untertägigen Erkundung der Schachtanlage Konrad wurden die Bohrungen 3/142 und 4/110 für weiterführende Laboruntersuchungen beprobt.

Die Probennahme erfolgte nach einer gemeinsamen (BGR, P+S u. GSF) Befahrung der Bohrkerne im Kernlager des Betriebs P+S auf der Schachtanlage Haverlahwiese am 02.04.1985 bzw. 15.05.1985 sowie am 05.06.1985.

Die Probennahmebereiche wurden von der BUNDESANSTALT für GEO-WISSENSCHAFTEN und ROHSTOFFE festgelegt. Als Probenmaterial standen in Folie eingeschweißte Bohrkerne mit einem Durchmesser von 50 bzw. 61 mm zur Verfügung. Durch die Bohrung 3/142 im nördlichen Hangendquerschlag auf der 3. Sohle sind die Schichten des Mittleren und Oberen Korallenoolith bis zum Bleckenstedter Sprung erbohrt worden.

Zur Probennahme wurden für die petrophysikalischen und felsmechanischen Laboruntersuchungen acht Kernstrecken unterschiedlicher petrographischer Einheiten ausgewählt [Tabelle 1]. Durch die Bohrung 4/110 im Liegendquerschlag auf der 4. Sohle wurden Teilbereiche des Unteren Korallenoolith, die Mylonitzone des Bleckenstedter Sprungs und die angrenzende Stufe des Kimmeridge aufgeschlossen. Für die weiterführenden Laboruntersuchungen wurden fünf Probennahmebereiche von der BGR ausgewiesen [Tabelle 2].

Von der angekündigten Beprobung weiterer Bohrungen bzw. von Material aus dem Streckenvortrieb wurde auf Weisung der PTB Abstand genommen.

Tabelle 1      Probenahme für petrophysikalische Laboruntersuchungen der Bohrung 3/142

| Stratigraphie  | Kernstrecke /<br>Probenahmebereich<br>(m) | Fazies  | Probenahmepunkt<br>(m) | Prüfkörper / Bezeichnung |
|--|---|---|------------------------|--------------------------|
| Mittl. Korallen-<br>oolith (Unt. Lager)              | 12,30 - 14,50                             | Limonitisches Erz in<br>kalkiger Matrix   | 12,8                   | 3/142/001 - PP1          |
|  |   |   | 13,3                   | " - PP2                  |
| Mittl. Korallen-<br>oolith (I Zwischen-<br>mittel)   | 38,45 - 41,40                             | Kalkmergelstein mit<br>limonitischen Ooiden in<br>Nestern und Schlieren   | 39,05                  | 3/142/002 - PP2          |
|  |   |   | 41,02                  | " - PP4                  |
| Mittl. Korallen-<br>oolith (II Zwischen-<br>mittel)  | 98,6 - 101,3                              | Kalkmergelstein, mittel-<br>bis dunkelgrau, Karbona-<br>tische Schlieren, schwach<br>schluffsandig                                  | 98,75                  | 3/142/003 - PP1          |
|  |   |   | 99,0                   | " PP2                    |
| Mittl. Korallen-<br>oolith (III Zwischen-<br>mittel) | 139,55 - 142,30                           | oolithischer Kalkstein,<br>mittelgrau mit dunkel-<br>grauen Mergelschlieren,<br>vorwiegend limonitisch<br>Ooide mit Schalendetritus | 141,9                  | 3/142/004 - PP3          |
|  |   |   | 142,3                  | " - PP4                  |
| Mittl. Korallen-<br>oolith (Oberes Lager)            | 177,95 - 181,55                           | Kalkstein, oolithisch, hell-<br>graubraun, Brauneisenoide<br>in karbonatischer Matrix   | 179,55                 | 3/142/005 - PP2          |
|  |   |   | 181,25                 | " PP3                    |
| Oberer Korallen-<br>oolith                           | 199,0 - 200,0                             | Mergelkalkstein   | 199,80                 | 3/142/006 - PP8          |
|  |   |   | 199,85                 | " - PP9                  |
| Oberer Korallen-<br>oolith                           | 234,95 - 236,52                           | Kalkstein mit Mergelstein-<br>schmitzen und -flasern  | 235,3                  | 3/142/007 - PP1          |
|  |   |   | 235,5                  | " - PP2                  |
| Oberer Korallen-<br>oolith                           | 261,28 - 263,05                           | Kalkmergelstein, schwach-<br>sandig, limonitisch, ooli-<br>thisch, flaseriges Gefüge  | 262,8                  | 3/142/008 - PP9          |
|  |   |   | 262,85                 | " - PP10                 |

Tabelle 2      Probennahme für petrophysikalische Laboruntersuchungen der Bohrung 4/110

| Stratigraphie | Kernstrecke/<br>Probennahmebereich<br>(m) | Fazies   | Probenahmepunkt<br>(m) | Prüfkörper / Bezeichnung |
|---------------|---|--|------------------------|--------------------------|
| Kimmeridge    | 21,50 - 21,98                             | Tonmergelstein mit<br>braunen, bituminösen<br>Einsprenglingen, Muschel-<br>schalen | 21,95                  | 4/110/001 A - PP1        |
| Kimmeridge    | 36,80 - 37,13                             | Kalkmergelstein  | 36,85                  | 4/110/001 B - PP1        |
| Kimmeridge    | 60,44 - 60,82                             | mergeliger Kalkstein   | 60,50                  | 4/110/001 C - PP1        |
| Kimmeridge    | 77,25 - 77,59                             | Mergelstein, Muschel-<br>schalen   | 77,55                  | 4/110/001 D - PP1        |
| Kimmeridge    | 106,75 - 107,15                           | Kalkmergelstein  | 106,80                 | 4/110/001 E - PP1        |

Aus den beprobten Bohrkernen wurden für die petrophysikalischen und felsmechanischen Laboruntersuchungen zylindrische Prüfkörper präpariert.

Für die Permeabilitäts- und Porositätsuntersuchungen wurden Prüfkörper mit einer Länge von 50 mm hergestellt. Aufgrund von teilweise recht großen Unterschieden in der Fazies und des Gefüges innerhalb eines Probennahmebereiches in der Bohrung 3/142, wurden für die Durchlässigkeitsversuche jeweils zwei Prüfkörper bearbeitet.

Demgegenüber wurde durch die Faziesgleichheit der Probennahmebereiche in der Bohrung 4/110 nur ein Prüfkörper je Kernstrecke petrophysikalisch untersucht.

Das bei der Präparation der Prüfkörper anfallende Restmaterial wurde gemahlen, gesiebt und für die Röntgenbeugungs-Untersuchungen, Kalkgehaltsbestimmungen und die Ermittlung der spezifischen Oberfläche verwendet.

### 3 Mineralogische und petrophysikalische Untersuchungen

#### 3.1 Röntgenbeugungs-Untersuchungen

Der qualitative Mineralbestand der Gesteinsproben wurde durch Röntgenbeugungs-Untersuchungen an Pulverpräparaten mit einem Röntgendiffraktometer (Gerätetyp-SEIFERT ISO DEBYFLEX 1001, Kupfer  $k_{\alpha}$ -Strahlung) ermittelt. Das Probenmaterial wurde zur Herstellung der Pulverpräparate für die Gesamtanalyse auf  $< 200 \mu\text{m}$  aufgemahlen und gemörsert. Die Auswertung der Röntgendiagramme erfolgte anhand der auftretenden Reflexe durch Umrechnung der entsprechenden Glanzwinkel ( $\theta$ ) in d-Werte. Die Identifikation der zugehörigen Minerale wurde durch Vergleich mit in Tabellen zusammengestellten Standard-d-Werten bekannter Minerale [5] durchgeführt.

Da die eindeutige Identifizierung der Tonminerale anhand der vorliegenden Röntgendiagramme nicht möglich war, wurden die Tonminerale gesammelt unter dem Begriff "Ton" aufgeführt.

### 3.2 Bestimmung der spezifischen Oberfläche

Die Bestimmung der spezifischen Oberfläche wurde in Anlehnung an die DIN 66132 mit einem Areameter nach der BET-Einpunktmethode [1] aus der Stickstoffadsorption bei  $T = 77$  K durchgeführt. Mit dem Verfahren wurden die äußere und die innere Oberfläche der zerkleinerten Feststoffproben ermittelt. Die Angabe der massenbezogenen Oberflächenwerte erfolgte in  $\text{m}^2/\text{g}$ .

Die Auswertung der Druckmeßwerte wurde nach der Formel

$$S_g = K_1 \cdot (p_0 - p) / m \cdot \Delta h \cdot (K_2 + K_3 \cdot p)$$

unter Berücksichtigung des Gleichgewichtsdruckes durchgeführt.

Das sehr kleine Volumen des verwendeten Probenmaterials wurde bei der Auswertung nicht berücksichtigt. Für die Versuche wurde die Fraktion  $< 200 \mu\text{m}$  von dem aufbereiteten, zerkleinerten Probenmaterial verwendet.

Aufgrund der bekannten hohen spezifischen Oberfläche von tonigen Sedimentgesteinen wurden ca. 1 g Probenmaterial für die Messung eingewogen.

Die bei 333 K vorgetrockneten Proben wurden anschließend unter Stickstoffatmosphäre mehrmals evakuiert und mit reinem Stickstoffgas gespült.

### 3.3 Gas-Permeabilitätsbestimmungen

Die Ermittlung der Gas-Permeabilität wurde von der ABTEILUNG für ERDÖLGEOLOGIE des GEOLOGISCHEN INSTITUTES der TU-CLAUSTHAL durchgeführt.

Die Bohrkernabschnitte wurden vor der weiteren Bearbeitung auf einen Durchmesser von 50 mm abgedreht. Anschließend wurden alle Proben ca. 8 Tage lang bei 328 K getrocknet.

Die Ermittlung der Gas-Permeabilität erfolgte in einer modifizierten HASSLER-Zelle. Die Versuche wurden bei einem allseitigen Manteldruck von 10 MPa durchgeführt, um artifizielle Permeabilitäten (Randumläufigkeiten etc.), wie sie bei der Untersuchung geringst permeabler Gesteine in früheren Versuchen beobachtet wurden, von vorneherein auszuschließen. Darüber hinaus wurde durch den relativ hohen Manteldruck eine bessere Anpassung der Versuchsbedingungen an die in situ-Druckbedingungen erreicht. Der Differenzdruck ( $\Delta p$ ) wurde je nach Permeabilität der Probe zwischen 0,3 und 4 MPa variiert. Der Auslaßdruck ( $P_2$ ) entsprach dem jeweiligen atmosphärischen Luftdruck.

Die Berechnung der scheinbaren Permeabilität erfolgte nach Darcy.

$$k_s = \frac{2 \cdot L \cdot \eta}{A} \cdot \frac{Q/t \cdot P_L}{(P_L + P/2) \cdot P}$$

An diesen Daten wurde eine graphische KLINKENBERG-Korrektur durchgeführt, soweit die Permeabilität für die hierfür notwendige Messung bei unterschiedlichen Porendrücken groß genug war. Einige Proben zeigten eine während der Messung abnehmende Permeabilität, die wahrscheinlich auf Risse bzw. Unstetigkeiten des

Gefüges in den Prüfkörpern zurückzuführen ist. Aufgrund von Verformungserscheinungen der Prüfkörper 3/142 - 002PP4 und - 003PP1 unter dem Einfluß des Manteldruckes sind die entsprechenden Gas-Permeabilitäten nicht angegeben worden.

### 3.4 Ermittlung der effektiven Porosität

Die Ermittlung der effektiven Porosität fand weitgehend nach [2] statt. In Abweichung von den dort angegebenen Versuchsbedingungen, wurde statt Isopropanol Kerosen als Tränkungsmedium verwendet.

Die Proben wurden vor der Tränkung mehrere Stunden evakuiert, die Tränkung erfolgte schrittweise im Laufe von zwei Tagen. Bis zur Messung wurden die Proben unter Vakuum in der Tränkungsflüssigkeit aufbewahrt.

Die Berechnung der effektiven Porosität ( $\Phi$ ) erfolgte aufgrund der Volumenbestimmung des Porenraumes ( $V_{\text{por}}$ ) und des Gesamtvolumens ( $V_{\text{tot}}$ ).

$$\Phi = V_{\text{por}} / V_{\text{tot}}$$

### 3.5 Berechnung der Bulk- und Matrixdichte

Die Bestimmung der Dichten erfolgte aus den in den Porositätsversuchen berechneten Volumina des Porenraumes ( $V_{\text{por}}$ ), des Gesamtvolumens ( $V_{\text{tot}}$ ) und des Matrixvolumens ( $V_{\text{mtx}}$ ) sowie der Masse ( $m_{\text{mtx}}$ ) der trockenen Probe.

Angegeben sind die

$$\text{Matrixdichte } \rho_m = m_{\text{mtx}}/V_{\text{mtx}} \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

und die Trocken-Gesteinsdichte

$$\text{Bulkdichte } \rho_{\text{bulk}} = m_{\text{mtx}}/V_{\text{tot}} \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

### 3.6 Kalkgehaltsbestimmung

Die kalzimetrischen Untersuchungen wurden vom INSTITUT für GRUNDBAU der UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG durchgeführt.

Die Ermittlung des Kalkgehaltes erfolgte nach der Arbeitsanweisung für Bodenuntersuchungen von [3]. Zur quantitativen Bestimmung des Kalkgehaltes diente ein SCHEIBLER-Gerät.

Aufgrund der relativ hohen Karbonatgehalte wurde 1.0 g des aufgemahlene Ausgangsmaterials für die Kalkgehaltsbestimmung verwendet. Der in den Tabellen in Prozent ausgedrückte Karbonatanteil bezieht sich auf das Trockengewicht der Gesteinsprobe.

### 4. Tabellarische Darstellung der Untersuchungsergebnisse

Die Ergebnisse der mineralogischen und petrophysikalischen Untersuchungen sind in den nachstehenden Tabellen 3-6 zusammengefaßt.

Mit aufgeführt sind in den Tabellen für die Bohrung 3/142 die mittleren Druckfestigkeiten bzw. für die Bohrung 4/110 einzelne Druckfestigkeitswerte.

Tabelle: 3 Ergebnisse der petrographischen und felsmechanischen Untersuchungen für die Probennahmebereiche der Bohrung 3/142

| Probennahmebereich | Fazies  | Mineralzusammensetzung                       | Kalkgehalt<br>(Gew.-%) | spez. Oberfläche<br>(m <sup>2</sup> /g) | mittl. Druckfestigkeit*<br>(MPa) |
|--------------------|---|--|------------------------|---|----------------------------------|
| 3/142/001          | Eisenoolith, rot-braun mit Schalendetritus u. Ton-schmitzen                   | -Goethit, Calcit, Quarz, Ton, Halit?         | 25,5                   | 17,306                                  | 40,07                            |
| 3/142/002          | Mergel-Kalkstein, dunkelgrau mit limonitisiertem Schalendetritus              | -Calcit, Quarz, Ton                          | 73,0                   | 20,441                                  | 53,85                            |
| 3/142/003          | Mergel-Kalkstein, dunkelgrau  | -Calcit, Quarz, Ton                          | 40,6                   | 11,140                                  | 53,43                            |
| 3/142/004          | Mergel-Kalkstein, dunkelgrau-braun-fleckig mit Schalendetritus                | Calcit, Quarz, Goethit, Ankerit, Ton, Halit? | 53,4                   | 16,250                                  | 61,62                            |
| 3/142/005          | Kalkstein, oolithisch, limonitisch, grau-hell-braun mit Mergelstein-schmitzen | Calcit, Goethit, Ton                         | 71,7                   | 5,787                                   | 39,38                            |
| 3/142/006          | Mergel-Kalkstein, grau, braunfleckig mit Schalendetritus                      | Calcit, Quarz, Goethit, Pyrit?, Ton          | 58,9                   | 23,201                                  | 24,19                            |
| 3/142/007          | Mergel-Kalkstein, dunkelgrau  | Calcit, Quarz, Ankerit, Pyrit, Ton           | 64,2                   | 22,146                                  | 35,97                            |
| 3/142/008          | Mergel-Kalkstein, dunkelgrau mit Limonitoiden                                 | Calcit, Quarz, Goethit, Pyrit, Ton           | 44,8                   | 27,736                                  | 31,96                            |

\* (4); aus TA 2222.02 AP 3

Tabelle: 4 Ergebnisse der petrographischen und felsmechanischen Untersuchungen für die Probennahmebereiche der Bohrung 4/110

| Probennahmebereich | Fazies  | Mineralzusammensetzung                  | Kalkgehalt<br>(Gew.-%) | spez. Oberfläche<br>(m <sup>2</sup> /g) | Druckfestigkeit *<br>(MPa) |
|--------------------|---|---|------------------------|---|----------------------------|
| 4/110/001 A        | Mergelstein, mittel-dunkelgrau  | Calcit, Sp. Quarz, Pyrit, Ton           | 77,1                   | 15,340                                  | 63,90                      |
| 4/110/001 B        | Kalk-Mergelstein mittelgrau   | Calcit, Quarz, Ankerit, Pyrit, Ton      | 63,9                   | 20,664                                  | 36,57                      |
| 4/110/001 C        | Kalk-Mergelstein, mittelgrau, schwach sandig                                  | Calcit, Sp. Quarz; Ankerit, Pyrit?, Ton | 76,5                   | 16,566                                  | 81,06                      |
| 4/110/001 D        | Kalk-Mergelstein, grau, fleckig durch Mergelsteineinschlüsse, Schalendetritus | Calcit, Sp. Quarz, Ton                  | 76,7                   | 16,890                                  | -                          |
| 4/110/001 E        | Kalk-Mergelstein, mittelgrau, schwach feinsandig                              | Calcit, Quarz, Ankerit?, Pyrit?, Ton    | 54,9                   | 22,743                                  | 30,99                      |

\* (4), TA 2222.02 AP 4

Tabelle 5: Zusammenstellung der petrophysikalischen Untersuchungsergebnisse für Proben der Bohrung 3/142

| Probennahmepunkt/<br>Prüfkörper-Nr. | Gestein                       | Matrix- und Bulkdichte <sup>*</sup> |                            | Porosität<br>(Vol-%) | Gas-Permeabilität<br>( $\mu\text{D}$ ) |
|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|----------------------|--|
|                                     |                               | ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )          | ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) |                      |  |
| 3/142/001 - PP1                     | <u>Eisenoolith</u> , kalkig   | 2,65                                | 2,60                       | 1,7                  | < 0,1                                  |
| 3/142/001 - PP2                     | <u>Eisenoolith</u> , kalkig   | 2,70                                | 2,59                       | 3,9                  | < 0,1                                  |
| 3/142/002 - PP2                     | <u>Kalk-Mergelstein</u>       | 2,65                                | 2,56                       | 3,4                  | 3,5                                    |
| 3/142/002 - PP4                     | <u>Kalk-Mergelstein</u>       | 2,65                                | 2,57                       | 3,1                  | * *                                    |
| 3/142/003 - PP1                     | <u>Mergel-Kalkstein</u>       | 2,63                                | 2,51                       | 4,5                  | * *                                    |
| 3/142/003 - PP2                     | <u>Mergel-Kalkstein</u>       | 2,68                                | 2,55                       | 4,7                  | 1,5                                    |
| 3/142/004 - PP3                     | <u>Mergel-Kalkstein</u>       | 2,69                                | 2,59                       | 3,9                  | 10,0                                   |
| 3/142/004 - PP4                     | <u>Mergel-Kalkstein</u>       | 2,69                                | 2,61                       | 3,2                  | 0,1                                    |
| 3/142/005 - PP2                     | <u>Kalkstein</u> , erzführend | 2,79                                | 2,43                       | 13,0                 | 2,4                                    |
| 3/142/005 - PP3                     | <u>Kalkstein</u> , erzführend | 2,83                                | 2,41                       | 14,9                 | 4,7                                    |
| 3/142/006 - PP8                     | <u>Mergel-Kalkstein</u>       | 2,72                                | 2,59                       | 4,9                  | 14                                     |
| 3/142/006 - PP9                     | <u>Mergel-Kalkstein</u>       | 2,69                                | 2,51                       | 6,6                  | 820                                    |
| 3/142/007 - PP1                     | <u>Mergel-Kalkstein</u>       | 2,69                                | 2,58                       | 3,8                  | 18                                     |
| 3/142/007 - PP2                     | <u>Mergel-Kalkstein</u>       | 2,69                                | 2,59                       | 3,7                  | 350 **                                 |
| 3/142/008 - PP9                     | <u>Mergel-Kalkstein</u>       | 2,68                                | 2,54                       | 5,2                  | 170                                    |
| 3/142/008 - PP10                    | <u>Mergel-Kalkstein</u>       | 2,66                                | 2,58                       | 3,2                  | 3                                      |

\* trockene Bulkdichte

\*\* während der Messung traten Verformungserscheinungen am Kern (Prüfkörper) auf

Tabelle 6: Zusammenstellung der petrophysikalischen Untersuchungsergebnisse für Proben der Bohrung 4/110

| Probennahmepunkt/<br>Prüfkörper-Nr. | Gestein          | Matrix- und Bulkdichte *   |                            | Porosität<br>(%) | Gas-Permeabilität<br>( $\mu\text{D}$ ) |
|-------------------------------------|------------------|----------------------------|----------------------------|------------------|--|
|                                     |                  | ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) | ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) |                  |  |
| 4/110/001 A                         | Kalk-Mergelstein | 2,61                       | 2,59                       | 0,8              | < 0,1                                  |
| 4/110/001 B                         | Mergel-Kalkstein | 2,64                       | 2,60                       | 1,6              | < 0,1                                  |
| 4/110/001 C                         | Kalk-Mergelstein | 2,66                       | 2,62                       | 1,3              | < 0,1                                  |
| 4/110/001 D                         | Kalk-Mergelstein | 2,65                       | 2,58                       | 2,9              | < 0,1                                  |
| 4/110/001 E                         | Mergel-Kalkstein | 2,63                       | 2,56                       | 2,8              | 1,9                                    |

\* trockene Bulkdichte

## 5 Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse

Die Bohrung 3/142 hat die Schichten des Mittleren und Oberen Korallenoolith (Oxford) aufgeschlossen.

Die stratigraphische Gliederung der o.g. Schichten für den Bereich der Schachtanlage Konrad erfolgte nach rein petrographischen Gesichtspunkten (Anlage 2). Entsprechend dieser Gliederung wurden für die petrophysikalischen Untersuchungen Probenahmebereiche im Unteren Erzlager, im Zwischenmittel und im Oberen Lager sowie im Oberen Korallenoolith festgelegt. Insgesamt wurden acht Bereiche ausgewählt.

Aufgrund der makroskopischen Kernkartierung handelt es sich bei den untersuchten Gesteinen um einen Brauneisenoolith (Unteres Lager) und um Mergel-Kalksteine mit unterschiedlichen limonitischen Beimengungen.

Mineralogisch setzen sich die Gesteine überwiegend aus Calcit und Quarz zusammen. Daneben treten die Fe-Minerale Goethit sowie vereinzelt Ankerit und Pyrit auf. Goethit ist im Unteren Lager (Probe 3/142/001) die dominierende Mineralkomponente und findet sich verstärkt in der Probe 3/142/005 des Oberen Lagers. Als Beimengung kommt in allen Proben eine durch die Untersuchungen nicht differenzierte Tonkomponente vor.

Die Matrixdichte der Gesteine liegt im allgemeinen zwischen 2,63 und 2,72 g/cm<sup>3</sup>. Lediglich die Proben aus dem Oberen Lager weisen mit 2,79 bzw. 2,83 g/cm<sup>3</sup> eine höhere Matrixdichte auf.

Der Kalkgehalt der Gesteine ist im Mittel sehr hoch und variiert zwischen 40 und 73 Gew.-%. Eine Ausnahme bildet die Probe 3/142/001 aus dem Unteren Lager mit einem Kalkgehalt von 25 Gew.-%.

Die spezifische Oberfläche der Gesteine liegt zwischen 5 und 28 m<sup>2</sup>/g und deutet auf einen sehr feinkörnigen Aufbau der Gesteine hin.

Die Probe 3/142/005 aus dem Oberen Lager weist mit 13,0 bzw. 14,9 % die höchsten effektiven Porositäten auf. Für die übrigen Probennahmebereiche wurden Porositäten von 1,7 bis 6,6 % ermittelt.

Alle aus dem Mittleren Korallenoolith entnommenen Proben weisen sehr geringe einheitliche Gas-Durchlässigkeiten von 10 bis 1  $\mu$ D und darunter auf. In einigen Fällen traten Verformungserscheinungen am Prüfkörper (3/142-002+003) verbunden mit der Verringerung der Permeabilität während der Messung auf. Die Messwerte für den Bereich des Oberen Korallenoolith schwanken dagegen sehr stark zwischen 3 und 820  $\mu$ D.

Die Festigkeit des Mittleren Korallenoolith ist aufgrund der ermittelten Druckfestigkeiten als "gering" bis "mittel" einzustufen [4].

Die ermittelten Druckfestigkeitswerte für den Oberen Korallenoolith liegen zwischen 24 und 36 MPa, was einer "sehr geringen" bis "geringen" Festigkeit entspricht [4].

Durch die Bohrung 4/110 wurden Teilbereiche des Unteren Korallenoolith, der Mylonitzone des Bleckenstedter Sprungs und des Kimmeridge (Oxford) aufgeschlossen (Anlage 3). Die fünf untersuchten Proben stammen aus dem Kimmeridge. Makroskopisch gesehen handelt es sich dabei um Mergel-Kalksteine. Der Mineralbestand setzt sich aus Calcit und Quarz sowie einer nicht näher differenzierten Tonkomponente zusammen. In den Proben 4/110/001 B und C wurde zusätzlich Ankerit festgestellt.

Der Gesamt-Karbonatgehalt der Gesteine variiert zwischen 54 und 78 Gew.-%.

Für den untersuchten Teilbereich des Kimmeridge liegen die ermittelten Gas-Permeabilitäten im Mittel unter  $1 \mu\text{D}$  und weisen das Gebirge als einen Bereich mit einer geringen Gesteinspermeabilität aus.

Für den untersuchten Teilbereich des Kimmeridge liegen die ermittelten Gas-Permeabilitäten im Mittel unter  $1 \mu\text{D}$  und weisen das Gebirge als einen Bereich mit einer geringen Gesteinspermeabilität aus.

Die Druckfestigkeitswerte schwanken von 30 bis 81 MPa und liegen - verglichen mit den Werten des Mittleren und Oberen Korallenoolith - im oberen Bereich der Werteskala. Allgemein muß die Druckfestigkeit  $[\sigma_D]$  als "mittel" eingestuft werden.

**Anlagenverzeichnis**

|                 |   |
|-----------------|---|
| <b>Anlage 1</b> | <b>Symbole</b>                                |
| <b>Anlage 2</b> | <b>Bohrkernbeschreibung der Bohrung 3/142</b> |
| <b>Anlage 3</b> | <b>Bohrkernbeschreibung der Bohrung 4/110</b> |

## Symbole

|                 |  |                      |
|-----------------|--|----------------------|
| $S_g$           | Spezifische Oberfläche                         |                      |
| $K_1, K_2, K_3$ | Gerätekonstante                                |                      |
| $p$             | Gleichgewichtsdruck                            | [Pa]                 |
| $p_0$           | Sättigungsdampfdruck des siedenden Stickstoffs | [Pa]                 |
| $\Delta h$      | Höhendifferenz im Druckdifferenzmesser         | [mm]                 |
| $m$             | Probewinwaage                                  | [g]                  |
| $k_s$           | scheinbare Permeabilität                       | [Darcy]              |
| $L$             | Probenlänge                                    | [cm]                 |
| $\eta$          | mittlere Gasviskosität                         |                      |
| $A$             | Querschnittsfläche                             | [cm <sup>2</sup> ]   |
| $Q$             | Durchflußmenge                                 | [cm <sup>3</sup> ]   |
| $P$             | stationärer Eingangsdruck                      | [Pa]                 |
| $P_L$           | stationärer Ausgangsdruck                      | [Pa]                 |
| $\phi$          | effektive Porosität                            | [Vol.-%]             |
| $\rho$          | Dichte   | [g/cm <sup>3</sup> ] |
| $\sigma_D$      | Druckfestigkeit                                | [Pa]                 |



Makroskopische Kernkartierung Bhrs. 3/142JURAMalmOxfordiumMittlerer Korallenoolith:

Unteres Erzlager:

0,00 - 10,90 m

Brauneisenoolith mit Kalkstreifen und viel Muschelschill; stark kalkiges Erz. Schichtung teils durch hauchdünne Tonsteinblätter nachgezeichnet.

10,90 - 20,10 m

Brauneisenooidschlieren und -streifen mit limonitischen Trümmererzanteil in kalkiger, tonmergeliger bis teilweise karbonatischer Matrix; schwach sandig mit viel Fossildetritus; die Schichtung ist vielfach durch Schillagen nachgezeichnet.

bei 20,10 m

Kopf des Unteren Lagers ist als Gerölllage aus limonitischen Brauneisengeröllen in fossilreicher Kalkmergelsteinmatrix ausgebildet.

## Zwischenmittel:

- 20,10 - 22,15 m Tonmergelstein, dunkelgrau mit Brauneisen- und Limonitoiden in Nestern und Schlieren; dünne, pyritstaubige Lagen. Gelegentlich treten kleine, limonitische Erzgerölle und Schillanreicherungen auf.
- 22,15 - 68,10 m Kalkmergelstein, mittelgrau bis dunkelgrau; hoher Anteil an Fossil-detritus; Schalenschill und Echinodermenstachel als Kristallisationskerne von karbonatischen und/oder limonitischen Krusten und Ooiden. Die Limonitkrusten und -oide nehmen wie die Schillführung zum Hangenden hin ab. Bei 68,10 m Teufe befindet sich eine glatte Kluftfläche mit sehr gut ausgebildetem Harnisch. Die Kluft ist mit weißem, körnigen Calcit bis 1 cm Mächtigkeit verheilt und z. T. drusig.
- 68,10 - 70,00 m Toniger Kalkoolith mit braunen Eisenoiden (Erzkalk) und untergeordneten Trümmererkorn. Das Gestein besitzt eine schlierige Textur und weist mehrfach mit Calcit verheilte Klüftchen auf.

- 70,00 - 125,40 m Schwach schluffiger, milder Tonmergelstein, dunkel- bis mittelgrau; geringe bis keine Fossilführung; Feinschichtung, scharfkantiger Bruch und z. T. Einlagerungen von kalkigen, festen Flasern. Diese nehmen zum Hangenden hin zu, so daß dort das Gestein einen Kalkmergelstein darstellt. Klüfte, alle mit Harnischen, wurden festgestellt in den Teufen:  
70,4 m; 71,1 m; 71,4 m; 71,6 m;  
72,35 m; 72,55 m; 73,5 m und  
74,0 m.
- 125,40 - 135,00 m Im Bereich um 125 m Teufe geht der o.g. Kalkmergelstein fließend in einen knorpelig brechenden Mergelstein über. Eingestreut sind Limonit- und Kalkooide, die oft lokal angereichert sind und dann als Schlieren auftreten. Die Durchmesser der Ooide liegen etwa bei 1 mm.  
Daneben tritt wieder Schalendetritis auf.  
Das Gestein ist dunkelgrau und wird zum Hangenden hin zunehmend kalkiger und sandiger.  
Klüfte wurden bei 146,5 m (mit sehr gut ausgebildetem Harnisch auf weißer Calcitfüllung) und 147,75 m Teufe beobachtet.

135,00 - 163,30 m Um 135 m Teufe geht der eben beschriebene Mergelstein in einen eisenschüssigen, tonig-sandigen Kalkstein über. Der Eisengehalt resultiert aus zahlreich eingestreuten Limonitoiden. Das Gestein ist tonschlierig und führt Schalen detritus. Zum Hangenden hin nehmen die Tonschlieren und der Fossilgehalt zu und es findet ein allmählicher Übergang zu einem sandigen Erzkalk statt.

Oberes Erzlager:

163,30 - 197,75 m Erzkalk des Oberen Erzlagers; ein eisenschüssiger tonig-sandiger Kalkstein, hellgrau bis rot-bräunlich, teils tonsteinschlierig. Der höchste Eisengehalt, bedingt durch braune Eisenoxide, tritt im Teufenbereich von 172,5 bis 189,0 m auf. Das Gestein ist deutlich geschichtet.

Oberer Korallenoolith:

- 197,75 - 199,10 m Eisenschüssiger Kalkstein mit reichlich Muschelschalen, der teils einen Biosparit bis Biomikrit darstellt. Das hellgraue bis bräunliche Gestein zeigt keine Schichtungsmerkmale. Kennzeichnend für diesen Bereich sind Muschelschalen, die eine hellbläulich-graue Karbonatfüllung besitzen.
- 199,10 - 202,05 m Ein dunkelgraubrauner Kalkmergelstein mit sehr hohem Muschelschalenanteil, dieser ist lagenweise als Schalendetritus angereichert. In der Matrix sind zahlreiche Limonitooide eingestreut.
- Bei 202,05 m entweder geringer Kernverlust oder eine Störung, da von Kernkiste 67 zu Kernkiste 68 im Bohrkern petrographisch und faziell ein totaler Wechsel auftritt.
- 202,05 - 205,28 m Ein weißgrauer bis schmutzigweißer Schillkalk mit einem hohen Anteil an Muschelschalen. Diese sind hin und wieder innen hohl und dann mit winzigen Calcit-

kristallen ausgekleidet. Meist aber sind sie bei Erhaltung beider Klappen mit einer dichten bräunlich-bis grünlichgrauen Karbonatmasse ausgefüllt. Die Muscheln sind bis maximal ca. 3 cm groß. In geringer Menge sind Limonitooide eingesprengt.

205,28 - 207,13 m Ein hell- bis mittelgrauer, toniger, fossilreicher (Muschelschalen), leicht eisenschüssiger (Limonitooide) Kalkstein, schwach sandig, mit schlieriger Textur. Die Limonitooide haben Durchmesser um 1 mm; daneben treten vereinzelt Trümmererkörner bis ca. 5 mm Durchmesser auf.

207,13 - 207,80 m Ein grauweißer bis sehr hellgrauer Schillkalk mit hohem Anteil an Muschelschalen, die nicht selten zweiklappig erhalten sind. Die Schalenstücken besitzen Größen um 10 mm.

Das Gestein ist dicht, hart und bricht muschelig bis splittrig. Die Grundmasse ist weitgehend mikritisch bis sparitisch. Typisch sind Muschelfüllungen und unregelmäßig eingestreute Bruchstücke aus einem schmutzigweißen, feinstkörnigen Kalk (Kryptokristalliner Kalk?), der sich aus der dunkleren,

mikritischen bis sparitischen Matrix deutlich abhebt. Das Gestein erweckt den Eindruck einer Kalkbreccie.

- 207,80 m Störung (Abschiebung)
- 207,80 - 212,50 m wie 205,28 - 207,13 m.
- 212,50 - 213,90 m wie 207,13 - 207,80 m, zum Hangenden hin teils tonschlierig.
- 213,90 m Störung
- 213,90 - 214,50 m Ein tonschlieriger, fossilreicher Kalkstein, sehr ähnlich dem Gestein von 207,13 bis 207,80 m nur mit höherem Tonanteil und stärker schlieriger Textur.  
(Der Winkel zwischen Bohrkernachse und Schichtung beträgt 4 bis 5 Gon).
- 214,50 - 227,00 m Ein dichter, harter mittel- bis hellgrauer Kalkoolith mit mäßiger Muschelschillführung. Er ist tonschlierig, schwach sandig und zeigt hin und wieder Klüftchen, die durch weißen, zuckerkörnigen Calcit verheilt sind.

- 227,00 - 227,40 m Störungszone: Mylonitbereich aus Tonmergelstein, Glanzharnische. Der Bohrkern ist völlig zerlegt.
- 227,40 - 267,90 m Im Liegendbereich ein Kalkstein, mittelgrau, mit Mergelstein-schmitzen und -flasern und teils sehr ähnlich dem Gestein von 214,50 bis 227,00 m.
- Der Tongehalt nimmt zum Hangenden hin zu. Das Gestein wird allmählich dunkelgrau.
- Ab ca. 241 m Teufe treten Limonit-ooide auf, die zum Hangenden hin deutlich zunehmen.
- Das Gestein wird im Hangenden zu einem dunkel- bis schwarzgrauen Tonmergelstein, kalkoolithisch, eisenschüssig, sandig mit ausgeprägt flasriger, schlieriger Textur.
- Klüfte wurden beobachtet bei:  
248,0 m, 248,25 m, 257,13 m,  
257,66 m, 258,0 m, 258,65 m,  
259,0 m und 267,90 m (mit Glanzharnisch) Teufe.
- 267,90 - 268,65 m Ein eisenschüssiger, hellgrauer bis leicht bräunlicher Kalkoolith, der dem Erzkalk im Bereich des

Oberen Lagers (Mittlerer Korallenoolith) sehr ähnelt.

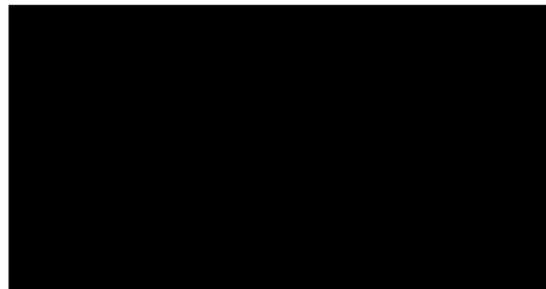
Klüfte bei 268,15 m, 268,40 m und 268,65 m Teufe.

- 268,65 - 272,20 m Störungszone: das Gebirge ist völlig zerlegt, sehr intensive tektonische Beanspruchung, häufig auftretende Glanzharnische, mehrfach durch Tektonik bedingter petrographischer Wechsel:
- 268,85 - 269,35 m:  
Gestein ähnlich 240 - 250 m Teufe.
- 269,35 - 269,85 m:  
Ein limonitischer Erzkalk, wie er im Unteren Korallenoolith zu finden ist. Offene Klüfte mit Calcit- und Coelestinkriställchen.
- 269,85 - 272,0 m:  
Ein tektonisch völlig durchmengtes Gestein mit Tonmergelsteinmatrix in der "Kalkgerölle" (?) eingebettet sind. Keine stratigraphische Einordnung durch makroskopische Kartierung möglich!  
Bei 271,20 m Wasser in sehr geringer Menge angetroffen.

272,0 - 272,20 m:

Tonmergelstein, schwarzgrau,  
völlig mylonitisiert.

272,20 - 275,25 m nicht gekernt, mit Rollenmeißel  
gebohrt. Das Bohrklein reagiert  
stark auf HCl, ist sandig und  
zeigt zahlreiche Kalkooide so-  
wie weniger häufig Limonitooide.  
Dieses stark gestörte Gestein  
dürfte demnach dem Korallen-  
oolith zuzurechnen sein. Bei  
275,25 m nicht beprobbar, ge-  
ringe Menge Wasser angetroffen.  
Rollenmeißel festgefahren.



Schachtanlage KONRAD

Salzgitter, 14.03.1986  
[REDACTED]Makroskopische Kernkartierung Bohrung 4/110  
-----

JURA

====

MALMOXFORDIUM  
-----Unterer Korallenoolith:

|       |   |         |  |
|-------|---|---------|--|
| 0.00  | - | 4.00 m  | Tonmergelstein, dunkelgrau, mild, tektonisch stark zerlegt   |
|       |   | 4.00 m  | = Vorstörung zum Bleckenstedter Sprung   |
| 4.00  | - | 12.90 m | Kalkstein, mikritisch bis sparitisch, hart grau bis braun-weiß streifig durch wechselnden Fe-Gehalt. Limonitooide bis 2 mm Durchmesser sind eingestreut oder lagig angereichert. Bei 11,65 m bis 11,73 m Teufe befindet sich eine Eisenoolithlage. Der Fe-Gehalt nimmt zur Bohртеufe hin zu. Neben Eisenoiden sind Trümmererzgeröllchen und Muschelschalenbruchstücke zu beobachten. |
| 12.90 | - | 14.35 m | Tonmergelstein bis Mergelstein; grau, keine Fossilien beobachtet. Stratigraphische Zuordnung erfolgte nicht.   |
| 14.35 | - | 18.20 m | Mylonitzone des Bleckenstedter Sprunges; Tonmergelstein, dunkelgrau, völlig zerrieben.   |

18.20 m = Hauptstörung, Bleckenstedter Sprung

KIMMERIDGE  
-----

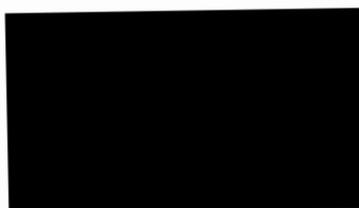
|           |   |             |   |
|-----------|---|-------------|---|
| 18.20     | - | 19.70 m     | Tonmergelstein, dunkelgrau, mit mittelgrauen Mergelsteinschlieren und -knollen. Eingelagert sind rosafarbene Anhydritknollen.   |
| 19.70     | - | 23.15 m     | Kalkmergelstein, schlierige Textur, grau mit hellgrauen, stark kalkigen Knollen und Schlieren   |
| 23.15     | - | ca. 26.40 m | Tonmergelstein, dunkelgrau, wenig braune, bituminöse Einsprenglinge   |
| ca. 26.40 | - | 27.25 m     | Kalkmergelstein, grau, hart; braune, bituminöse Einsprenglinge, Ausbildung sehr ähnlich dem Gestein aus dem Bereich 19.70 - 23.15 m<br>Probe 4/110/2 = 26.65 m.   |
| 27.25     | - | 28.45 m     | Kalkmergelstein, graugrünlich, dicht, hart, grüngefleckt.<br>Probe 4/110/3 = 27.50 m  |
| 28.45     | - | 30.10 m     | Tonmergelstein, grau bis schwach bräunlich; stark zerbohrter Kern   |
| 30.10     | - | ? m         | Kalkmergelstein bis mergeliger Kalkstein, "Knollenkalk"-Ausbildung, teils mit Mergelkalksteingeröllen. Der Kalkmergelstein ist vorwiegend mittel- bis dunkelgrau, die stärker kalkigen Komponenten sind hellgrau. Das Gestein besitzt eine schlierige bis flaserig-knollige Textur. |

Kleine, braune, bituminöse Einsprenglinge treten unregelmäßig verteilt auf.

Probe 4/110/4 = 32,85 m.

|           |   |             |   |
|-----------|---|-------------|---|
| 39.95     | - | ca. 42.00 m | Kalkmergelstein, grau bis hellgrau, knollige bis schlierige Textur  |
| ca. 42.00 | - | ca. 56.00 m | Kalkmergelstein, graugrünlich, mild; Kern z.T. stark zerlegt; bei 55.80 m ist das Gestein grün gefärbt; vereinzelt wurden winzige Pyritkriställchen beobachtet, die im Gestein unregelmäßig eingestreut sind. |
| ca. 56.00 | - | 60.10 m     | Kalkmergelstein, grau bis weißlichgrau, flaserige, knollige bis schlierige Textur; geringer Fossilgehalt zu erkennen  |
| 60.10     | - | 63.65 m     | Kalkmergelstein wie vorher, geht in mergeligen Kalkstein über; deutlicher Fossilgehalt (Muschelschalenbruchstücke).   |
| 63.65     | - | 67.30 m     | Mergelstein, kalkig, mild, grau bis braungrau, feinschichtig bis schlierig, wenige Muschelschalenbruchstücke zu beobachten.   |
| 67.30     | - | ca. 77.00 m | Mergelstein, grau bis hellgrau, kalkig, massig, dicht, ungeschichtet.   |
| ca. 77.00 | - | 78,70 m     | Tonmergelstein bis Mergelstein, grau, ungeschichtet; zahlreiche Muschelschalen, 2 - 3 cm groß.  |
| 78.70     | - | ca. 83.40 m | Tonmergelstein bis Mergelstein, grau bis dunkelgrau, sehr selten Fossilien zu beobachten.   |

|           |   |          |  |
|-----------|---|----------|--|
| ca. 83.40 | - | 84.60 m  | Kalkmergelstein, grau/graurosa-fleckig, keine Fossilien beobachtet, knorpeliger Bruch                                  |
| 84.60     | - | 86.10 m  | Kalkmergelstein, hellgrau, dicht, fest, massig, ungeschichtet  |
| 86.10     | - | 88.50 m  | Tonmergelstein, grau bis dunkelgrau, feinschichtig; bei 88 m mit rosafarbenen Anhydritknöllchen                        |
| 88.50     | - | 99.65 m  | Tonmergelstein bis Mergelstein, braungrau, grau, teils schlierige Textur (um 95 - 96 m); zerfällt in Süßwasser sofort! |
| 99.65     | - | 105.20 m | Mergelstein, grau, dicht, massig; Kern völlig zerlegt.   |
| 105.20    | - | 109.80 m | Kalkmergelstein bis mergeliger Kalkstein; knollig-flaserige Textur, grau bis hellgrau, fest.                           |



## Literaturverzeichnis

- [1] DIN 66132: Bestimmung der spezifischen Oberfläche von Festkörpern durch Stickstoffadsorption. Einpunkt-Differenzverfahren nach Haul und Dümbgen. - Juli 1975.
- [2] MÜLLER, G.: Methoden der Sedimentuntersuchung. - 1964.
- [3] SCHULTZE: Bodenuntersuchungen für Ingenieurbauten. - u. MUHS 2. Aufl., Springer Verlag, 1967.
- [4] HÄNSEL u.: Ermittlung felsmechanischer Gesteinsparameter KULL in Erkundungsstrecken. - Abschlußbericht TA 2222.02 AP3, April 1986.
- [5] ICPDS Mineral Powder Diffraction File-Data book. - ICPDS, International Centre for Diffraction Data, Swarthmore/US, 1980.