



DECKBLATT

EU 199	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
	9K	3521.32	-	HG	RB	0039	00

Titel der Unterlage: Hydraulische Kennwerte im Gebiet der Grube Konrad (Archiv-Nr. 103 690)	Seite:
	I.
	Stand: August 1988

Ersteller: BGR	Textnummer:
-------------------	-------------

Stempelfeld:

PSP-Element TP..9K/2122422		zu Plan-Kapitel: 3.1.10.3	
		PL	PL
		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 199	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
	9K	3521.32	-	HG	RB	0039	00

Titel der Unterlage: Hydraulische Kennwerte im Gebiet der Grube Konrad (Archiv-Nr. 103 690)	Seite: II.
	Stand: August 1988

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.

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE
HANNOVER

Hydraulische Kennwerte im Gebiet der Grube Konrad

Datum	:	August 1988
Archiv-Nr.	:	103 690
Tagebuch-Nr.	:	11 722/88

INHALT

	<u>Seite</u>
Zusammenfassung	1
1. Problemstellung	2
2. Ableitung hydraulischer Parameter aus hydrogeologischen Untersuchungen	4
2.1 Generelle Überlegungen	4
2.2 Durchlässigkeit	5
2.3 Porosität	6
3. Vorläufige Diskussion der hydraulischen Parameter der Modell-Schichtglieder	10
3.1 Vorliegendes Datenmaterial	10
3.2 Lockergesteine des Tertiär - Quartär	11
3.3 Sandsteine	11
3.4 Kluftwasserleiter	13
3.5 Mergel und Mergelsteine	14
3.6 Tonsteine und Tonmergelsteine	15
4. Notwendige weiterführende Arbeiten	16
Schriftenverzeichnis	18

Verzeichnis der Tabellen

1. Lithologisch-stratigraphische Schichteinheiten im Modellgebiet Konrad
2. Meßwerte hydraulischer Parameter von psammitischen Festgesteinen im Untersuchungsgebiet Konrad
3. Meßwerte hydraulischer Parameter von mesozoischen Festgesteinen aus Öl- und Gasbohrungen in Norddeutschland
4. Meßwerte hydraulischer Parameter von Kluftwasserleitern im Untersuchungsgebiet Konrad
5. Meßwerte hydraulischer Parameter von jurassischen Mergel- und Tonsteinen aus dem Untersuchungsgebiet Konrad und weiterer Umgebung
6. Meßwerte hydraulischer Parameter von Tonsteinen und Tonmergelsteinen im Untersuchungsgebiet Konrad
7. Labormeßwerte hydraulischer Parameter an Kernproben von Untersuchungsbohrungen im Gebiet Konrad (Dogger, Malm, Unterkreide)

Zusammenfassung

Für rechnerische Abschätzungen zur möglichen Ausbreitung von Wasserinhaltsstoffen (geohydraulische Modellrechnungen) im Grundwasser des Gebietes der Grube Konrad werden hydraulische Kennwerte für die in diesem Gebiet verbreiteten geologischen Schichtglieder benötigt. Aus hydrogeologischen Untersuchungen und Auswertungen lassen sich mit für die verschiedenen Schichtglieder unterschiedlicher Genauigkeit und Sicherheit Kenndaten für die Durchlässigkeit, die nutzbare (abflußwirksame) Porosität und die Matrix-Porosität ableiten.

Im vorliegenden Bericht werden diese Kenndaten für die in geohydraulischen Modellrechnungen verwendeten Schichtglieder nach einer vorläufigen Auswertung zusammengestellt und diskutiert. Weiterführende Arbeiten, die zur genaueren Eingrenzung von für das Untersuchungsgebiet Konrad repräsentativen hydraulischen Kennwerten notwendig sind, werden aufgezeigt.

1. Problemstellung

Im Rahmen der Sicherheitsanalyse des geplanten Endlagerbergwerks Konrad werden verschiedene rechnerische Abschätzungen zur möglichen Ausbreitung von Wasserinhaltsstoffen im Grundwasser durchgeführt. Für diese geohydraulischen Modellrechnungen wurden von der BGR die hydrogeologischen Grundlagen erarbeitet, die u. a. Vorgaben für die in die Modellrechnungen einzusetzenden hydraulischen Kennwerte umfassen.

Die geologische Schichtenfolge im Modellgebiet wurde für die Modellrechnungen schematisch in 12 lithologisch-stratigraphische Einheiten aufgeteilt (Tab. 1), denen jeweils nach den vorliegenden Informationen möglichst repräsentativ erscheinende hydraulische Kennwerte zugewiesen wurden (HÜSER & NEUMANN-REDLIN, 1986, PTB 1986).

Nach ihren hydrogeologischen Eigenschaften lassen sich diese Einheiten in folgende Gruppen gliedern:

- Lockergesteine: Quartär, Tertiär,
- Sandsteine mit Poren- und Fugendurchlässigkeit:
Hilssandstein,
Cornbrash-Sandstein,
Rhät-Sandsteinhorizont,
- Kluftwasserleiter:
Plänerkalke,
Oxford,
Oberer Muschelkalk,
- Mergel und Mergelsteine (gering durchlässige Kluftwasserleiter):
Emschermergel,
Wealden,
Mündener Mergel,
Kimmeridge,
- sehr gering durchlässige Festgesteine:
Tonsteine und Tonmergelsteine der Unterkreide und des Keuper,
Lias und Dogger.

Schichteinheit	Durchlässigkeitsbeiwerte m/s	effektive Porositäten in %
Quartär	10 ⁻⁵	25
Tertiär	10 ⁻⁵	25
Emscher-Mergel	10 ⁻⁸	20
Plänerkalke	10 ⁻⁷	5
Unterkreide außer Hilssandstein	10 ⁻¹⁰	10
Hilssandstein	10 ⁻⁵	25
Wealden, Kimmeridge und Münder Mergel	10 ⁻⁸	10
Oxford	10 ⁻⁷	2
"Cornbrash"	10 ⁻⁶	5
Dogger, Lias und Keuper	10 ⁻¹⁰	10
Ton- und Mergelsteine		
Rhät	10 ⁻⁶	20
Oberer Muschelkalk	10 ⁻⁶	2

Tab. 1: Lithologisch-stratigraphische Schichteinheiten im Modellgebiet Konrad mit angenommenen hydraulischen Kennwerten für Modellrechnungen (aus PTB 1986)

Für die Begutachtung durch den NMU werden Angaben zur Herleitung der hydraulischen Parameter sowie zu deren Streubreiten gefordert (Nachforderung HY 13: Streubreite hydraulische Daten). Die hierfür durchzuführenden Auswertungen stehen in engem Zusammenhang mit den Nachforderungen HY 27: Gültigkeit des Darcy-Gesetzes und HY 34: Klüfte und poröses Gestein.

Die theoretischen Grundlagen zur Bearbeitung dieser Fragestellungen wurden im Rahmen neuerer Forschungsarbeiten genauer definiert (VOGEL & GIESEL 1988 a, 1988 b). Darauf und auf den für den Plan Konrad (PTB 1986) erarbeiteten Unterlagen aufbauend, werden im vorliegenden Bericht folgende Fragen diskutiert:

- Welche hydraulischen Kenndaten können aus hydrogeologischen Auswertungen für die geohydraulischen Berechnungen bereitgestellt werden?
- Welche Meßwerte liegen für das Gebiet Konrad zur Ableitung von repräsentativen hydraulischen Kenndaten vor?
- Wie können die einzusetzenden Kennwerte durch hydrogeologische Auswertungen und theoretische Untersuchungen weiter eingegrenzt werden?

2. Ableitung hydraulischer Parameter aus hydrogeologischen Untersuchungen

2.1 Generelle Überlegungen

Die modellmäßige Betrachtung der Ausbreitung von Wasserinhaltsstoffen im Deckgebirge der Grube Konrad umfaßt eine Simulation des Stofftransportes mit der konvektiven und dispersiven Grundwasserbewegung sowie der Retardation durch Adsorption, Diffusion und andere Vorgänge.

Die zu berücksichtigenden Einheiten im Bereich Konrad sind im wesentlichen - mit Ausnahme der oberflächennahen Lockersedimente des Tertiärs - Quartärs - Festgesteine mit Fugendurchlässigkeit bzw. Poren- und Fugendurchlässigkeit.

Die modellmäßige Beschreibung des Wasser- und Stofftransportes in diesen Einheiten basiert auf folgenden Parametern (VOGEL & GIESEL 1988):

Durchlässigkeit	K_f
abflußwirksame Porosität	n_e
Matrixporosität	Q_{im}
Diffusionskoeffizient	D
Dispersionslänge	d_L
Matrixtortuosität	τ

Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf die Parameter Durchlässigkeit (K_f) und Porosität (n_e und Q_{im}) und die Möglichkeiten, diese aus hydrogeologischen Untersuchungen und Auswertungen abzuleiten.

2.2 Durchlässigkeit

Fließbewegungen in Festgesteinen sind abhängig von der Gebirgsdurchlässigkeit, die sich aus Porendurchlässigkeit und Trennfugendurchlässigkeit zusammensetzt (KARREBERG 1981, S. 31). Dabei kann angenommen werden, daß die Gebirgsdurchlässigkeit je nach der petrographischen Zusammensetzung der Schichtglieder z. T. fast ausschließlich von der Trennfugendurchlässigkeit bestimmt wird (Kluftwasserleiter, z. B. Plänerkalke, Oberer Muschelkalk), während bei Sandsteinen auch die Porendurchlässigkeit von Bedeutung sein kann.

Im allgemeinen wird in hydraulischen Modellrechnungen für die Aquiferdurchlässigkeit der aus Pumpversuchen ermittelte Durchlässigkeits-Koeffizient K_f eingesetzt.

Die Gebirgsdurchlässigkeit in Festgesteinen läßt sich grundsätzlich - analog zur Bestimmung der Durchlässigkeit in Lockergesteinsaquiferen - durch Pumpversuche (Aquifertests) ermitteln, wenn ein hinreichend großes, für die hydraulischen Eigenschaften des Wasserleiters repräsentatives Teilgebiet

erfaßt wird (repräsentatives Elementarvolumen). Auswertbare Pumpversuche in inhomogenen Festgesteinsaquiferen erfordern in der Regel ausgedehnte Versuchsfelder und müssen bestimmte geohydraulische Anforderungen erfüllen, die selten gegeben sind (STOBER 1986, S. 45). Aus diesen Gründen liegen insgesamt nur sehr wenige aus Pumpversuchen in Festgesteinen ermittelte hydraulische Kennwerte vor.

Aus Bohrlochtests (Drill Stem Tests, Slug Tests, Pulse Tests) ermittelte Durchlässigkeitswerte sind nur für die nächste Umgebung des Bohrloches repräsentativ, die oft kleiner als das Repräsentative Elementarvolumen ist.

Weitere Durchlässigkeitswerte liegen aus Labormessungen an Kernmaterial sowie von geophysikalischen Bohrlochmessungen von Erdöl- und Erdgasbohrungen vor. Für die Erdöl- und Erdgasprospektion ist von allem die Porendurchlässigkeit von Bedeutung. Sie wird routinemäßig an Laborkernen als absolute Gasdurchlässigkeit bestimmt (BENDER 1984, S. 176). Anhand von Bohrloch-Logs wird die Permeabilität aus Porosität und Matrixwiderstand indirekt ermittelt (REPSOLD 1981). Auch hier wird in erster Linie die Porendurchlässigkeit erfaßt.

Die Kluftdurchlässigkeit kann theoretisch aus der Klufthäufigkeit und der Kluftweite bestimmt werden (VOGEL & GIESEL 1988), sofern repräsentative Werte für das Kluftinventar der betrachteten Gesteinskörper vorliegen.

2.3 Porosität

Die Porosität eines Gesteinskörpers ist nicht eindeutig definiert. Nach LLAMAS (1985, S. 552) können folgende Arten von Gesteinsporosität unterschieden werden:

- Gesamtporosität: Verhältnis des Volumens der Hohlräume zum Gesamtvolumen,
- effektive Porosität (specific yield): durch Schwerkraft entwässerbarer Wassergehalt,

- kinematische Porosität: von Grundwasser durchströmte Hohlräume,
- statische Porosität, die für die Molekular-Diffusion zur Verfügung steht ("Totporosität"),
- Gehalt des Gesteins an Wasser, das an Tonminerale und hydratisierte Minerale gebunden ist.

Für hydraulische Betrachtungen des Grundwasserfließverhaltens wird im allgemeinen die nutzbare Porosität berücksichtigt, welche das unter üblichen Druckverhältnissen fließfähige und somit nutzbare Wasser repräsentiert (KARREBERG 1981, S. 7).

Die nutzbare Porosität entspricht im wesentlichen den Begriffen der effektiven und der kinematischen Porosität nach LLAMAS. Sie wird auch als der Volumenanteil definiert, in dem sich Wasser effektiv bewegen kann (STOBER 1986, S. 24, FRIED 1971, S. 280). Bei Festgesteinsaquiferen setzt sich die nutzbare Porosität aus nutzbarem Kluftvolumen und nutzbarem Porenraum zusammen.

Die nutzbare Porosität kann ermittelt werden (MATTHES & UBELL 1983, S. 15 f)

- aus regional hydrologischen Betrachtungen (langjährige hydrologische Bilanz des Grundwassers, Schüttungsänderungen von Quellen oder Abflußänderungen von Gewässern mit definierten Einzugsgebieten),
- aus Felduntersuchungen an Brunnen (Brunnenleistungen, Pumpversuche, Markierungsversuche),
- aus Messungen der Kluftvolumina in Aufschlüssen.

Diese Methoden sind für die meisten der im Gebiet Konrad zu betrachtenden insbesondere der tiefen wasserleitenden Gesteinseinheiten nicht anwendbar. Generell sind auch in der Literatur nur sehr wenige auf die Festgesteine im Gebiet Konrad übertragbare Vergleichswerte zu finden.

Bei der Erdölprospektion werden Porositätswerte an Gesteinsproben bestimmt und aus geophysikalischen Bohrlochmessungen errechnet. Dabei wird die Porosität als Verhältnis von Porenvolumen zum Gesamtvolumen ermittelt (BENDER 1984, S. 176). Die so bestimmte Porosität wird im allgemeinen als effektive Porosität bezeichnet. Sie stimmt nicht unbedingt mit der für hydraulische Berechnungen relevanten nutzbaren Porosität überein.

Die im Labor oder durch Bohrlochmessungen ermittelten Porositätswerte müssen zur Abschätzung der nutzbaren Porosität entsprechend der mineralogischen Zusammensetzung der Gesteinsmatrix korrigiert werden (LLAMAS 1985, S. 552).

Bei grobkörnigen Sedimenten kann die im Labor meßbare effektive Porosität relativ gut mit der kinematischen Porosität übereinstimmen. Bei feinkörnigen Sedimenten treten große Unterschiede zwischen den verschiedenen Arten der Porosität auf.

Für die Ermittlung des Stofftransportes in feinkörnigen Sedimenten wurde von CARTWRIGHT (1985, S. 798) das Konzept einer effektiven Transport-Porosität eingeführt. Nach experimentellen Daten liefern hierfür Labormessungen der Gesamtporosität und der effektiven Porosität zu große Werte, während als "specific yield" ermittelte Werte im allgemeinen zu klein sind (CARTWRIGHT 1985, S. 798).

Die Porosität wird bei hydraulischen Betrachtungen zum Stofftransport für die Berechnung der Abstandsgeschwindigkeit (average linear ^{v_o}porosity, FREEZE & CHERRY 1979) benötigt entsprechend der Gleichung

$$v_o = v_f/n_e,$$

wobei

v_o = Abstandsgeschwindigkeit,

v_f = Filtergeschwindigkeit,

n_e = effektive Porosität

(RICHTER & LILLICH 1975, S. 256).

Die Abstandsgeschwindigkeit entspricht der volumetrischen Grundwasserströmung geteilt durch den von den durchströmten Poren eingenommenen Volumen-Anteil (FREEZE & CHERRY 1979, S. 71). Bei grobkörnigen Porenwasserleitern wird dieses Volumen im allgemeinen der nutzbaren Porosität und annähernd auch der im Labor bestimmten effektiven Porosität entsprechen. In gering durchlässigen Gesteinen weichen jedoch Gesamtporosität und die im Labor bestimmte effektive Porosität stark von der nutzbaren Porosität ab (vgl. z. B. RICHTER & LILLICH 1975, S. 7).

In einem sehr homogenen gering durchlässigen Gestein wird die langsame Durchströmung das gesamte Volumen zusammenhängender Poren einbeziehen. Bei der Betrachtung langfristiger Grundwasser-Strömungsvorgänge ist daher nicht nur der sehr geringe Nutzporenraum, sondern auch die Gesamtporosität der Gesteinsmatrix (Matrixporosität) von Bedeutung. In feinkörnigen Sedimentgesteinen wird die Matrixporosität im allgemeinen annähernd den im Labor gemessenen Werten der effektiven Porosität entsprechen. Bei Grundwasserbewegungen und Stofftransport in tonigen Gesteinen spielen neben den hydraulischen Vorgängen auch physikalische Wechselwirkungen zwischen Gestein, Wasser und Stoffkonzentration eine wesentliche Rolle.

Schwer erfaßbar ist der für die Abstandsgeschwindigkeit relevante Porenraum insbesondere für inhomogene gering durchlässige Gesteinskörper, beispielsweise tonige Gesteine mit Sand-Einlagerungen oder geklüftete Festgesteine.

Nach VOGEL & GIESEL (1988 b) kann hier die Abstandsgeschwindigkeit des Trägerfluids durch die Abstandsgeschwindigkeit der Konzentrationsfront ersetzt werden. In Kluftwasserleitern geht in diese Abstandsgeschwindigkeit der Konzentrationsfront die Gesamtporosität des Kluftsystems und der Gesteinsmatrix ein (VOGEL & GIESEL 1988 a).

Bei der Diskussion der für einzelne Schichtglieder im Gebiet Konrad repräsentativen Porositäten in Abschnitt 3 werden folgende Größen angegeben:

- Labormeßwerte der effektiven Porosität, die in der Größenordnung meist etwa der Matrixporosität entsprechen,
- verallgemeinerte Abschätzungen der nutzbaren (= abflußwirksamen) Porosität,
- generelle Erfahrungswerte des Klufthohlraumvolumens,
- Gesamtporosität = Klufthohlraumvolumen und Matrixporosität.

3. Vorläufige Diskussion der hydraulischen Parameter der Modell-Schichtglieder

3.1 Vorliegendes Datenmaterial

Nach vorläufigen Auswertungen zusammengestellte Daten hydraulischer Parameter für das Untersuchungsgebiet Konrad sowie aus Öl- und Gasbohrungen vorliegende Vergleichswerte aus anderen Teilen Nordwest-Deutschlands sind in Tab. 2 - 7 aufgelistet.

Im Untersuchungsgebiet Konrad liegen Meßwerte hydraulischer Kenndaten nur punktuell für einzelne Schichtglieder vor. Eine flächendeckende Ermittlung hydraulischer Meßwerte war im Rahmen der Standorterkundung nicht möglich. Daher werden auch keine statistisch abgesicherten Mittelwerte und Fehlerbreiten der hydraulischen Kennwerte angegeben.

Für die Ableitung von hydraulisch sinnvollen Parameterwerten liegen folgende Informationen vor:

- Durchlässigkeits- und Porositätswerte aus Erdöl- und Erdgasbohrungen,
- Labormessungen von Permeabilität und Porosität an Gesteinsproben aus der Schachtanlage Konrad und von Tagesaufschlüssen sowie von Kernproben aus Untersuchungsbohrungen,
- Bohrlochtests an der Bohrung Konrad 101,
- Auswertung der Meßdaten von Wasserzuflüssen in der Grube Konrad.

Die vorliegenden Daten sind im wesentlichen bei BRASSER (1985), KLINGE & NEUMANN-REDLIN (1986), SCHNEIDER & ZACHMANN (1983) und MÜLLER u. a. (1986 a, 1986 b, 1988) dokumentiert und werden in Abschnitt 3 für die einzelnen im Modell verwendeten Einheiten diskutiert.

Soweit für bestimmte litho-stratigraphische Einheiten keine Meßwerte aus dem Untersuchungsgebiet verfügbar sind, werden Kennwerte von vergleichbaren Formationen aus anderen Gebieten entsprechend allgemeiner hydrogeologischer Erfahrung eingesetzt.

3.2 Lockergesteine des Tertiär - Quartär

Durch Pumpversuche in sandigen Sedimenten des Quartärs wurden im Bereich Konrad Durchlässigkeitswerte von 10^{-3} m/s ermittelt (BUSCH 1985). Entsprechend der generellen lithologischen Zusammensetzung der tertiären-quartären Sedimente und aus generellen Überlegungen zum Grundwasserhaushalt im Gebiet Konrad wurde ein pauschaler K_f -Wert von 10^{-5} m/s für die Lockersedimente eingesetzt (HÜSER & NEUMANN-REDLIN 1986, S. 17).

Feldmessungen der Porosität liegen für diese Sedimente nicht vor. Der eingesetzte K_f -Wert von 10^{-5} m/s entspricht einem schluffigen Sand oder Feinsand mit einer nutzbaren Porosität zwischen 10 und 25 % und einer Gesamtporosität zwischen 25 und 50 % (vgl. z. B. MATTHESS & UBELL 1983, S. 93 u. 105, FREEZE & CHERRY 1979, S. 37).

3.3 Sandsteine

Meßwerte hydraulischer Parameter von psammitischen Festgesteinen aus dem Untersuchungsgebiet sind in Tab. 2 zusammengestellt. Die an Laborkernen und Bohrlochtests gemessenen K_f -Werte liegen für den Hilssandstein bei 10^{-5} bis 10^{-8} m/s, für den Cornbrash-Sandstein im allgemeinen bei $1,4 \times 10^{-9}$ bis 10^{-12} m/s. Im Bereich des Schachtes Konrad II hat eine in der

Ausdehnung begrenzte Kluft eine um mehrere Größenordnung höhere Durchlässigkeit. Im Gebiet der Grube Konrad ist der Cornbrash durch einen Calcit-zementierten Feinsandstein mit sehr geringer Porendurchlässigkeit vertreten, in dem einzelne Klüfte mit erhöhter Durchlässigkeit vorkommen können. Aus der Kohlenwasserstoff-Exploration in der weiteren Umgebung von Konrad ist der Cornbrash als Porenspeicher mit mittlerer bis guter Durchlässigkeit bekannt.

Für den Rhät-Sandstein liegen keine Durchlässigkeitswerte aus dem Gebiet Konrad vor. Von den in der weiteren Umgebung gelegenen Ölfeldern Mölme und Hohne werden Durchlässigkeitswerte von 10^{-5} bis 10^{-6} m/s für den Rhät-Sandstein angegeben (Tab. 3).

Die an Bohrkernen gemessenen oder aus Bohrloch-Logs berechneten Effektivporositäten liegen bei 25 - 35 % für den Hilssandstein, 1,4 - 15 % für den Cornbrash-Sandstein und 15 - 20 % für den Rhät-Sandstein (Tab. 2 und 3).

Für verschiedenste mesozoische Sandsteine in Norddeutschland liegen zahlreiche Permeabilitäts- und Porositätsbestimmungen aus Öl- und Gasfeldern vor (Tab. 3). Die Streubreite dieser Meßwerte liegt generell bei $K_f = 10^{-4}$ bis 10^{-7} m/s, effektive Porosität = 5 bis \gg 30 %.

Über hydraulische Kennwerte von Sandsteinen des Germanischen Mesozoikums, die hydrogeologisch untersucht wurden, sind in der Literatur folgende Angaben zusammengestellt:

Gebirgsdurchlässigkeit im Buntsandstein 10^{-7} bis 10^{-3} m/s, meist zwischen 5×10^{-6} und 5×10^{-5} m/s (KARRENBURG 1981, S. 177).

Durchlässigkeitswerte aus verschiedenen Buntsandsteingebieten:
 10^{-4} bis 10^{-8} m/s (MATTHESS & UBELL 1983, S. 212).

K_f -Werte von Keupersandsteinen aus Pumpversuchen:
 10^{-4} bis 10^{-7} m/s (KARRENBURG 1981, S. 184).

K_f -Werte aus Labormessungen des Hilssandsteins von Alfeld/Leine:
 10^{-6} bis 10^{-8} m/s (ZEINO-MAHMALAT 1973).

Für das nutzbare Kluftvolumen werden Werte von 0,5 - 1,5 % (Keuper, KARREBERG 1981, S. 183), \ll 0,1 - 5 % (psephitisch-psammitische Gesteine, MATTHESS & UBELL 1983, S. 99) und 0,1 - 0,5 % (Mittlerer Buntsandstein, UDLUFT 1971, S. 383) angegeben, für die Porosität folgende Werte:
18 % (Oberer Buntsandstein, UDLUFT 1971, S. 383),
19 % (Hilssandstein, KARREBERG 1981, S. 187),
23 - 24 % (Hilssandstein, ZEINO-MAHMALAT 1973),
30 - 39 und 8 - 25 % (Sandsteinkeuper, KARREBERG, S. 183),
2,3 - 15,4 % (Buntsandstein, MATTHESS 1970, S. 22).

Die nutzbare Porosität und Matrixporosität von Hilssandstein und Rhät-Sandstein lassen sich größenordnungsmäßig auf 10 - 20 % bzw. 10 - 30 % abschätzen. Die nutzbare Porosität des Cornbrashsandsteins ist überwiegend als Trennfugenporosität anzusehen und dürfte somit in der Größenordnung von 0,1 - 5 % liegen, während die Gesamtporosität etwa 10 % betragen dürfte.

3.4 Kluftwasserleiter

Die im Untersuchungsgebiet Konrad gewonnenen Meßwerte hydraulischer Parameter von Kluftgesteinen liegen in folgenden Bereichen (Tab. 4):

Plänerkalke (Oberkreide):

K_f -Werte aus Labormessungen an Kernen: 8×10^{-8} bis 8×10^{-2} m/s

K_f -Werte aus Bohrlochtests: 10^{-7} bis 10^{-8} m/s

Effektive Porosität aus Labormessungen: 8,4 - 19,1 %

Korallenoolith (Malm):

K_f -Werte aus Labormessungen an Kernen: 10^{-6} bis $\ll 10^{-12}$ m/s

K_f -Werte aus Bohrlochtests: $\gg 10^{-4}$ bis $\ll 10^{-11}$ m/s

Effektive Porosität aus Labormessungen: 0,1 - 19,3 %.

Für den Unteren Muschelkalk liegen keine Meßwerte vor.

In Berichten über hydrogeologische Untersuchungen von mesozoischen Kluftwasserleitern in Norddeutschland sind im allgemeinen nur Brunnenergiebigkeiten oder eine qualitative Charakterisierung der Gebirgsdurchlässigkeit angegeben (z. B. Abstufung von sehr gering bis sehr groß, MICHEL 1971).

Für Mergelsteine der Oberkreide im Münsterschen Becken werden Kluftdurchlässigkeiten von 10^{-6} bis 10^{-7} m/s zitiert (KARRENBERG 1981, S. 205). Nach einer Zusammenstellung von MATTHESS & UBELL (1983, S. 215) liegt die Gesteinsdurchlässigkeit von nicht verkarsteten Karbonatgesteinen zwischen $\leq 10^{-9}$ und 3×10^{-5} m/s.

Aus den punktuell vorliegenden Daten des Bereiches Konrad lassen sich für Plänerkalke, Oxford (Korallenoolith) und Oberen Muschelkalk in der Fläche Gebirgsdurchlässigkeiten von weniger als 10^{-6} bzw. 10^{-7} m/s annehmen.

Die nutzbare Porosität ist in diesen Gesteinen überwiegend durch das Kluft-hohlraumvolumen bedingt. Hierfür werden aus anderen Gebieten Werte von 0,5 - 2,8 % für Plänerkalke (Tagesaufschlüsse bei Alfeld, ZEINO-MAHMALAT 1973, S. 15) und ca. 5 % für Muschelkalk (Rhön, UDLUFT 1971, S. 370) angegeben. Die Porosität der Festgesteinsmatrix wird im allgemeinen größer als die Kluftporosität sein.

3.5 Mergel und Mergelsteine

Die im Untersuchungsgebiet vorwiegend aus Mergelsteinen aufgebauten Einheiten Emscher Mergel (Oberkreide), Wealden (Unterkreide), Mündener Mergel (Oberer Malm) und Kimmeridge (Mittlerer Malm) werden als gering durchlässige Kluftwasserleiter angesehen.

Zur Permeabilität dieser Einheiten liegen aus dem Untersuchungsgebiet Laborwerte an Kernproben des Kimmeridge vor. Die ermittelten K_f -Werte reichen von 10^{-10} bis $\leq 10^{-12}$ m/s (Tab. 5).

Durch Öl- und Gasbohrungen untersuchte stratigraphisch entsprechende Horizonte (Wealden, Kimmeridge, Tab. 3) zeichnen sich durch außergewöhnliche Gesteinseigenschaften aus, wodurch auch ihre Speichereigenschaften begründet sind. Diese besonderen Ausbildungen sind im Projektgebiet Konrad nicht oder nur untergeordnet in örtlich begrenzten Vorkommen vorhanden.

Es ist daher gerechtfertigt, anzunehmen, daß die Gebirgsdurchlässigkeit der hier diskutierten Gesteinseinheiten zwischen der Durchlässigkeit von Kluftwasserleitern (Abschnitt 3.3) und von sehr gering durchlässigen Tonsteinen (3.5) in der Größenordnung von 10^{-8} m/s liegen.

Als Effektivporosität von mergelig-tonigen Gesteinen des Malm im Gebiet Konrad und weiterer Umgebung werden Labormeßwerte von 0,8 - 22,5 % angegeben (Tab. 5). Das nutzbare Porenvolumen in den Mergelsteinen entspricht weitgehend dem Klufthohlraum, für den eine Größenordnung von ≤ 1 % angenommen werden kann.

3.6 Tonsteine und Tonmergelsteine

Die im Gebiet Konrad für Tonsteine und Tonmergelsteine der Unterkreide und des Dogger ermittelten hydraulischen Kennwerte sind in Tab. 6 zusammengestellt. Für die Durchlässigkeit wurden in Bohrlochtests durchweg Werte von $\leq 10^{-11}$ m/s gemessen. Injektionstests im Bereich der Schächte ergaben z. T. höhere Durchlässigkeits-Werte. An Laborkernen gemessene Kf-Werte liegen zwischen 10^{-10} und $\leq 10^{-13}$ m/s.

Durch Pumpversuche in oberflächennahen Unterkreide-Tonsteinen in Niedersachsen (Alb bei Schwickeltdt, Apt-Barrême bei Hoheneggelsen, Valangin bei Münchehagen) wurden Gebirgsdurchlässigkeiten zwischen 10^{-6} und 10^{-10} m/s, im Mittel etwa 10^{-7} m/s ermittelt (DÖRHÖFER u. a. 1983).

Nach MATTHESS & UBELL (1983, S. 207) liegt die Gesteinsdurchlässigkeit von pelitischen Gesteinen im allgemeinen deutlich unter 10^{-8} m/s in der Größenordnung 10^{-10} bis 10^{-12} m/s.

Labormessungen der Porosität von Unterkreide- und Dogger-Tonsteinen ergaben von 5,9 - 20,8 % (Tab. 6).

Die nutzbare Porosität von tonigen Gesteinen weicht stark von der Gesamtporosität ab (vgl. z. B. MATTHESS & UBELL 1983, Abb. 57) und liegt im allgemeinen in der Größenordnung von $\ll 0,1 - 5 \%$ (MATTHESS & UBELL 1983, Tab. 14 und 15). Für oberflächennahe Unterkreide-Tonsteine in Niedersachsen werden nutzbare Hohlraumvolumina von unter 1 %, im Durchschnitt 0,5 % angenommen (DÖRHÖFER u. a. 1983, S. 101).

Aufgrund dieser aus dem Gebiet Konrad punktuell vorliegenden Meßwerte und der aus Lehrbüchern und anderer Literatur entnommenen allgemeinen Kenntnisse, können für die Tonsteine und Tonmergelsteine von Unterkreide und Dogger folgende hydraulische Kennwerte begründet angenommen werden:

Gebirgsdurchlässigkeit: $\ll 10^{-10}$ m/s,
nutzbares Hohlraumvolumen: 0,5 - 1 %,
Gesamtporosität der Gesteinsmatrix: 5 - 20 %.

Für die tonigen Gesteine des Keuper und Lias liegen keine Meßwerte vor. Die hydraulischen Kennwerte dürften in derselben Größenordnung wie bei den Unterkreide- und Dogger-Tonsteinen liegen.

4. Notwendige weiterführende Arbeiten

Zur genaueren Eingrenzung von für das Untersuchungsgebiet Konrad repräsentativen hydraulischen Kennwerten werden folgende weitere Arbeiten vorgeschlagen:

- Umfassende Auswertung der Unterlagen über in einem Umkreis von 50 km um das Gebiet Konrad liegenden Bohrungen (Archivunterlagen BGR/NLFB),
- umfassende Auswertung der in Publikationen zitierten relevanten Angaben über hydraulische Kenndaten verschiedener litho-stratigraphischer Einheiten Nordwestdeutschlands,

- Zusammenstellung der lithologisch-faziellen Verhältnisse der im Untersuchungsgebiet verbreiteten litho-stratigraphischen Einheiten,
- Zusammenstellung von Literaturangaben über die Tiefenabhängigkeit hydraulischer Parameter von Festgesteinen,
- Zuweisung von hydraulischen Kenndaten zu den litho-stratigraphischen Einheiten im Gebiet Konrad und Diskussion der möglichen Bandbreiten dieser Kenndaten aufgrund der oben aufgeführten Zusammenstellungen und allgemeiner hydrogeologischer Erfahrungen,
- Diskussion der Möglichkeiten einer Bestimmung der Fugendurchlässigkeit einzelner Festgesteinseinheiten aufgrund von Auswertungen des Kluftinventars,
- vertiefte Betrachtung der Übertragbarkeit von theoretischen Ansätzen zur Beschreibung des Stofftransportes in Festgesteinskörpern auf die einzelnen Modell-Einheiten.

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE

Im Auftrag:



-Ltd. Direktor u. Professor-

Sachbearbeiter:



-Geologieoberrat-

Schriftenverzeichnis

- BENDER, F. (Hrsg.), 1984: Angewandte Geowissenschaften III, Stuttgart.
- BRASSER, T., 1985: Hydrogeologisches Modell; Zusammenstellung geologischer, hydrogeologischer und tektonischer Grundlagen. - Ber. GSF (LV Nr. 2242.06/AP 1), Braunschweig.
- BUSCH, W., 1985: Pumpmenge Wasserwerk-Hütte. - Ber. GSF (LV Nr. 2219.03/AP 1 + 2), Braunschweig.
- CARTWRIGHT, K., 1985: Effective transport porosity (effective pore volume) of some fine-grained sediments. - IAH Mem. 17, pt. 2, 798, Tucson.
- DELISLE, G.; W. GIESEL, F. SCHILDKNECHT, 1986: Zur Abschätzung der Durchlässigkeit des Oxford im Bereich der Grube Konrad. - Ber. BGR (Arch. Nr. 99 426), Hannover.
- DÖRHÖFER, G. u. a., 1983: Geowissenschaftliche Vorsorgeuntersuchungen zur Standortfindung für die Ablagerung von Sonderabfällen. Arbeitsbericht 1982. - Ber. BGR (Archiv Nr. 92 117), Hannover.
- FREEZE, R. A., J. A. CHERRY, 1979: Groundwater, Englewood Cliffs.
- FRIED, J., 1975: Groundwater Pollution, Amsterdam.
- HÜSER, M., Chr. NEUMANN-REDLIN, 1986: Hydrogeologie im Gebiet der Grube Konrad. Grundlagen der Modellrechnungen zur Langzeitsicherheit. - Ber. BGR (Archiv-Nr. 99 131), Hannover
- JUNG, R., 1988: Auswertung eines Druckaufbautests im Ort 300 der Grube Konrad. - Ber. BGR (Archiv Nr. 102 372), Hannover.
- KARRENBERG, H., 1981: Hydrogeologie der nichtverkarstungsfähigen Festgesteine. Wien - New York.
- KELLER, S., H. KLINGE, 1984: Hydrogeologie KONRAD - erweiterter Bereich - Zwischenbericht 1984. - Ber. BGR (Archiv Nr. 96 603), Hannover.
- KLINGE, H., C. NEUMANN-REDLIN, 1985: Hydraulische Testarbeiten in der Bohrung Konrad 101. - Ber. BGR (Archiv Nr. 98 403), Hannover.
- KULL, H., 1986: Durchführung von petrophysikalischen Laboruntersuchungen. Mitarbeit geowissenschaftliches Erkundungsprogramm. - Ber. GSF (LV-Nr. 2222.02), Braunschweig.
- LIEDTKE, L. u. a., 1986: Durchströmungsversuche auf der Schachtanlage Konrad im Schacht 2. - Ber. BGR (Archiv-Nr. 99 421), Hannover.
- LIEDTKE, L. u. a., 1987: Durchströmungsversuche auf der Schachtanlage Konrad, Ort 300, Schacht 1. - Ber. BGR (Archiv Nr. 100 925), Hannover.

- LLAMAS, N. R., 1985: Hydrogeology of rocks of low permeability: regional studies. - IAH Mem. 17, pt. 2, 547 - 558, Tucson.
- MATTHESS, G., 1970: Beziehungen zwischen geologischem Bau und Grundwasserbewegung in Festgesteinen. - Abh. Hessisches Landesamt f. Bodenforschung, 58, Wiesbaden.
- MATTHESS, G., K. UBELL, 1983: Allgemeine Hydrogeologie Grundwasserhaushalt. Berlin - Stuttgart.
- MICHEL, G., 1977: Die Grundwasserführung mesozoischer Gesteine Ostwestfalens aufgrund der Erfahrungen beim Brunnenbau. - Symp. Percolation through fissured rocks Proc., T3 - F1 - 7, Essen.
- MÜLLER, K., u. a., 1986: Ermittlung von Gesteinsparametern an Bohrkernen der Bohrung K 101, Abschlußbericht zur TA 2219.26, Probenuntersuchung Tiefbohrung K 101. - Ber. Inst. Geol. Paläont. Abt. Erdölgeologie T. U. Clausthal, Clausthal-Zellerfeld (1986 a).
- MÜLLER, K., u. a., 1986: Probenuntersuchungen an Lager-Begrenzungsbohrungen. - Ber. Inst. Geol. Paläont. Abt. Erdölgeologie T. U. Clausthal, Clausthal-Zellerfeld (1986 b).
- MÜLLER, K., u. a., 1988: Ermittlung von Gesteinsparametern an der "Cornbrash"-Bohrung. - Ber. Inst. Geol. Paläont. Abt. Erdölgeologie T. U. Clausthal, Clausthal-Zellerfeld.
- PTB, 1986: Plan Endlager für radioaktive Abfälle Schachtanlage Konrad Salzgitter, Braunschweig.
- REPSOLD, H., 1981: Ein systematisches Konzept zur Auswertung von Bohrlochmessungen in Lockergesteinsaquiferen. - Ber. NLF (Archiv Nr. 87 308), Hannover.
- RICHTER, W., W. LILLICH, 1975: Abriß der Hydrogeologie, Stuttgart.
- RUMMEL, F., V. HEUSER: Hydraulic-fracturing Spannungs- und Permeabilitätsmessungen in der Schachtanlage Konrad. - Ber. Inst. Geophysik Univ. Bochum, Bochum.
- SCHNEIDER, W., D. ZACHMANN, 1983: Sedimentpetrographische Untersuchungen zur Ermittlung von Gesteinsparametern für die Bestimmung von Sorptionswerten an "Konrad-Gesteinen". - Ber. Inst. Geol. Paläont. TU Braunschweig, Braunschweig.
- STOBER, I., 1986: Strömungsverhalten in Festgesteinsaquiferen mit Hilfe von Pump- und Injektionsversuchen. - Geol. Jb., C 42, Hannover.
- STORCK, R. u. a., 1986: Langzeitsicherheitsanalyse des Endlagers Konrad: Radionuklidenausbreitung in der Nachbetriebsphase. - Ber. GSF (LV-Nr. 2242.06), München.
- STORCK, R. u. a., 1987: Langzeitsicherheitsanalyse für Endlager in geologischen Formationen. Jahresbericht 1987. - Ber. GSF, Braunschweig.

- UDLUFT, P., 1971: Hydrogeologie des oberen Sinntales. - Geologica Bavarica 64, München.
- VOGEL, P., W. GIESEL, 1988: Zur Ausbreitung von Wasserinhaltsstoffen im Gebirge. Theoretische Betrachtungen zur Äquivalenz von Parallelkluftsystem und homogenem Porenwasserleiter. - Geol. Jb., E 42, 79 - 94, Hannover (1988 a).
- VOGEL, P., W. GIESEL, 1988: Gültigkeitsbereiche des Darcy-Gesetzes für poröse Gesteine. Ber. BGR (Archiv-Nr. 103 560), Hannover (1988 b).
- ZEINO-MAHMALAT, H., 1973: Hydrogeologie der Sackmulde bei Alfeld/Leine. - Geol. Jb., C 6, Hannover.

Tab.2: Meßwerte hydraulischer Parameter von psammitischen Festgesteinen aus dem Untersuchungsgebiet Konrad

Lithostratigr. Einheit	Stratigraphie	Lithologie	Lokation	Teufe (m u.Gel.)	Durchlässigkeit (m/s)	Best. methode	Effekt. Porosität	Best. methode	Quelle	
Hilssandstein	Alb	Sandstein	Konrad II	470			26	Labor		
			Konrad II	469	$1,5 \cdot 10^{-5}$	Labor	29	Labor	SCHNEIDER & ZACHMANN 1984	
			Adersheim	Oberfl.		$1,5 \cdot 10^{-8}$	Labor	31,3	Labor	
			K 101	457	$1,4 \cdot 10^{-5}$	Labor	35,2	Labor	MÜLLER u.a.1986	
			K 101	444-481	10^{-5}	Bohrl.-test			KLINGE & NEUMANN-REDLIN 1986	
Cornbrash	Dogger	Sandstein	K 101	893-908	$<10^{-11}$	Bohrl.-test			KLINGE & NEUMANN-REDLIN 1986	
			K 101	906-921	$<10^{-11}$	Bohrl.-test				
			K3/150		10^{-9} - $<4 \cdot 10^{-12}$	Labor			MÜLLER u.a. (s.Tab.7)	

Tab.3: Meßwerte hydraulischer Parameter von mesozoischen Festgesteinen aus Öl- und Gasbohrungen in Nordwestdeutschland

(Labormessungen an Kernen und aus Bohrloch-Logs berechnete Werte)

Stratigraphie	Lokation	Lithologie	Teufe (m)	Durchlässigkeit (m/s)	Effekt. Porosität	Quelle
Unterkreide, Valangin	Emsland	Sandstein	760-1122	$9,5 \cdot 10^{-5} - 6 \cdot 10^{-6}$	20-23	BRASSER 1985
	Rühle	Sandstein		$10^{-4} - 10^{-7}$	24-30	BRASSER 1985
	Nienhagen	Sandstein		$10^{-5} - 10^{-6}$	20-25	BOIGK 1981
	Suderbruch	Sandstein		10^{-5}	20	BOIGK 1981
Unterkreide, Wealden	Mölme		580-650		5-30	ROLL 1971
	Wietze			10^{-5}	35-42	
	Scheerhorn		1160	10^{-6}	27,2	BRASSER 1985
	Lingen		900	10^{-6}	23,6	BRASSER 1985
Malm, Kimmeridge	Suderbruch	Kalkstein		$10^{-5} - 10^{-8}$	5-20	BOIGK 1981
	Osterwalde		800-1200		2-15	BRASSER 1985
	"		1495	$6 \cdot 10^{-7}$	19,8	
	Hohenassel	Korallenoolith	520	10^{-6}	19,5	BRASSER 1985
Dogger Cornbrash	Rühme			10^{-10}	8,7	SCHNEIDER & ZACHMANN 1984
	Nienhagen			10^{-7}	13	BOIGK 1981
Dogger d	Suderbruch				5-28	BOIGK 1981
Dogger β	Hankensbüttel			$10^{-4} - 10^{-6}$	19-31	BRASSER 1985
	Meerdorf		1733	10^{-6}	19	BRASSER 1985
	Wesendorf			10^{-5}	20-30	BRASSER 1985
Lias Lias a	Wesendorf			10^{-6}	5-22	BOIGK 1981
	Hohne			$10^{-5} - 10^{-6}$	16	BOIGK 1981
Rhät	Mölme			10^{-6}	15-20	ROLL 1971, BOIGK 1981
	Hohne			$10^{-5} - 10^{-6}$	16	BOIGK 1981

Tab.4: Meßwerte hydraulischer Parameter von Kluftwasserleitern im Untersuchungsgebiet Konrad

Lithostratigr. Einheit	Stratigraphie	Lithologie	Lokation	Tiefe (m u.Gel.)	Durchlässigkeit (m/s)	Best. methode	Effekt. Porosität	Best. methode	Quelle
<u>Oberkreide, Plänerkalke</u>	Turon	Plänerkalk	K 101	0-116	10^{-7}	Pumpvers			KLINGE & NEUMANN-REDLIN 1986
		Plänerkalk	K 101	122-160	10^{-8}	Pumpvers			
		Plänerkalk	K 101	155-214	10^{-8}	Pumpvers			
		Plänerkalk	K 101	159-196	10^{-7}	Bohrl.-test			
	Cenoman	Kalkmergel	K 101	204-241	$<10^{-11}$	Bohrl.-test			
	U.Turon		K 101	154	$5 \cdot 10^{-11}$	Labor	8,4	Labor	
	U.Cenoman		K 101	215	$<10^{-10}$	Labor	12,9	Labor	MÜLLER u.a. 1986a
	U.Cenoman		K 101	238	$8 \cdot 10^{-12}$	Labor	15	Labor	
	Cenoman	Biomikrit	Baddeckenstedt	Oberfl	10^{-10}	Labor	10,6	Labor	
	Cenoman	Mergelkalk	Baddeckenstedt	Oberfl	10^{-10}	Labor	14,4	Labor	SCHNEIDER & ZACHMANN 1984
	M.Turon	Biomikrit	Lesse - Söhlde	Oberfl.	10^{-9}	Labor	19,1	Labor	
	M.Turon	Biomikrit	Baddeckenstedt	Oberfl	$8 \cdot 10^{-9}$	Labor			
	U.Turon	Biomikrit	Baddeckenstedt	Oberfl			7,7	Labor	
<u>Malm.</u>	<u>Korallenoolith</u>	Ob.	K 101	634-678	$5 \cdot 10^{-9}$	Bohrl.-test			KLINGE & NEUMANN-REDLIN 1986
		Mittl.-ob.	K 101	678-711	$3 \cdot 10^{-10}$	Bohrl.-test			
		Unt.-mittl.	K 101	711-744	$<10^{-11}$	Bohrl.-test			
		Unt.	K 101	740-782	10^{-4}	Bohrl.-test			
		Unt.-ob.	K 101	637-772	$10^{-6}-10^{-12}$	Labor	7,0-19,3	Labor	
	"	"	Ort 300		$10^{-8}-<10^{-9}$	Injekt.-tests			LIEDTKE 1986
	"	"	Ort 300		$10^{-10}-10^{-14}$	Druckaufb. test			JUNG 1986
	"	"	Gr.Konrad		$10^{-10}-10^{-11}$	Drucktests in Bohrg.			RUMMEL & HEUSER 1981
	"	"	Gr.Konrad		$<10^{-9}$	Auswertg. Wasserzuml.			DELISLE u.a. 1986
	"	Kalkstein-Sandstein	Bohrungen Gr.Konrad		$5 \cdot 10^{-10}-<10^{-12}$	Labor	0,1-16,5	Labor	MÜLLER u.a.1986b (s.Tab.7)
	"	Kalkstein, Kalkmergelst.	3/142		$8 \cdot 10^{-6}-<10^{-9}$	Labor	1,7-14,9	Labor	KULL 1986 (s.Tab.7)
	"	Eisenoolith	Ort 360		$2 \cdot 10^{-10}$	Labor	19,5	Labor	
	"	Eisenoolith	Ort 552		10^{-8}	Labor	26,8	Labor	SCHNEIDER & ZACHMANN 1984
"	Kalkarenit	Konrad 4.Sohle		10^{-10}	Labor	2,5	Labor		

Tab.5: Meßwerte hydraulischer Parameter von jurassischen Mergel- und Tonsteinen aus dem Untersuchungsgebiet Konrad und weiterer Umgebung

Stratigraphie	Lithologie	Lokation	Teufe (m u.Gel.)	Durchlässigkeit (m/s)	Best. methode	Effekt. Porosität	Best. methode	Quelle
Kimmeridge	Kalkstein	Konrad 3.Sohle		10^{-10}	Labor	19,5	Labor	} SCHNEIDER & } ZACHMANN 1984
Oxford	Tonstein	Konrad 4.Sohle				13,8	Labor	
Malm	Kalkstein	Vechelde I 756-761				4,9-21,9		} BRASSER 1985
Malm	Tonstein	Vechelde I 762				23,7		
"Mündener Mergel"	Tonstein	Vechelde I 765-780				16,5-22,5		
Kimmeridge	Kalk-Mergelstein	4/110		$<10^{-12}$	Labor	0,8	Labor	} KULL 1986
"	Mergel-kalkstein	4/110		$<10^{-12}$	Labor	1,6	Labor	
"	Kalk-Mergelstein	4/110		$<10^{-12}$	Labor	1,3	Labor	
"	Kalk-Mergelstein	4/110		$<10^{-12}$	Labor	2,9	Labor	
"	Mergel-kalkstein	4/110		$2 \cdot 10^{-11}$	Labor	2,8	Labor	

Tab.6: Meßwerte hydraulischer Parameter von Tonsteinen und Tonmergelsteinen im Untersuchungsgebiet Konrad

Lithostratigr. Einheit	Stratigraphie	Lithologie	Lokation	Teufe (m u.Gel.)	Durchlässigkeit (m/s)	Best. methode	Effekt. Porosität	Best. methode	Quelle	
Unterkreide-Mergel	Alb	Flammenmergel	K 101	241-292	$<10^{-11}$	Bohrl.-test			KLINGE & NEUMANN-REDLIN 1986	
	Alb	Tonmergelstein	K 101	302-427	$<10^{-11}$	Bohrl.-test				
	Alb	Tonmergelstein	K 101	427-449	$<10^{-11}$	Bohrl.-test				
	Hauterive-Apt	Tonmergelstein	K 101	460-608	$<10^{-11}$	Bohrl.-test				
	Ob. Hauterive	Tonstein, Mergelst.	Schacht I	600-640	$<10^{-9}$	Injekt.-test				LIEDTKE u.a. 1987
	Ob. Hauterive	Tonstein, Mergelst.	Schacht II	585-610	$10^{-8}-10^{-9}$	Injekt.-test				LIEDTKE u.a. 1986
	Ob.-U. Alb		K 101	268-455	$2 \cdot 10^{-11}-6 \cdot 10^{-12}$	Labor	14,5-20,8	Labor		MÖLLER u.a. 1986 (s.Tab.7)
	Ob.Apt		K 101	462	$<2 \cdot 10^{-12}$	Labor	16,9	Labor		
	Ob.Apt		K 101	475	10^{-12}	Labor	13,0	Labor		
	Ob. Barreme		K 101	484	$7 \cdot 10^{-12}$	Labor	10,1	Labor		
Dogger Tonsteine und Mergelsteine	Callov.-Bathon.	Tonmergelst.	K 101	776-880	$<10^{-11}$	Bohrl.-test			KLINGE & NEUMANN-REDLIN 1986	
	Bajoc.	Tonstein	K 101	919-1002	$<10^{-11}$	Bohrl.-test				
	M.Callov.-ob. Bajoc.		K 101	776-976	$1,7 \cdot 10^{-10}$	Labor	5,9-13,3	Labor	MÖLLER u.a. 1986 (s.Tab.7)	

Tab. 7: Labormesswerte hydraulischer Parameter an Kernproben von Untersuchungsbohrungen
im Gebiet Konrad (Dogger, Malm, Unterkreide)

Stratigraphie	Lithologie	Bohrg. Nr.	Teufe (m)	Permeabil. (md)	Effekt. Porosität	Quelle
<u>Unterkreide-</u>						
<u>Mergel</u>						
Oberalb		K 101	268	$2 \cdot 10^{-3}$	19,7	MÜLLER u.a. 1986a
"		"	271	$2 \cdot 10^{-4}$	18,6	"
"		"	278		16,4	"
"		"	326	$< 10^{-3}$	14,9-17,1	"
"		"	346	$< 10^{-4}$	16,6	"
Mittelalb		"	376	$< 2 \cdot 10^{-4}$	17,5	"
"		"	380	$< 2 \cdot 10^{-4}$	20,4	"
"		"	389	$1 \cdot 10^{-3}$	18,5	"
Unteralb		"	394	$5 \cdot 10^{-4}$	20,8	"
"		"	399		18,4	"
"		"	399		18,9	"
"		"	438	$6 \cdot 10^{-5}$	14,7	"
"		"	450	$3 \cdot 10^{-4}$	19,2	"
"		"	455	$9 \cdot 10^{-4}$	18,1	"
Oberapt		"	462	$< 2 \cdot 10^{-5}$	16,9	"
"		"	475	10^{-4}	13,0	"

Stratigraphie	Lithologie	Bohrg. Nr.	Teufe (m)	Permeabil. (md)	Effekt. Porosität	Quelle
Oberbarreme		"	484	$7 \cdot 10^{-4}$	10,1	MÜLLER u.a. 1986a
"		"	493	10^{-2}	12,5	"
"		"	501	$6 \cdot 10^{-6}$	15,3	"
Mittelbarreme		"	510	$6 \cdot 10^{-4}$	17,0	"
"		"	544		14,1	"
"		"	555		14,1	"
Oberhauterive		"	597	$5 \cdot 10^{-4}$	13,6	"
Unterhauterive		"	611	$< 5 \cdot 10^{-3}$	7,4	"
"		"	622		12,0	"

Stratigraphie	Lithologie	Bohrg. Nr.	Teufe (m)	Permeabil. (md)	Effekt. Porosität	Quelle
<u>Malm</u>						
<u>Korallenoolith</u>						
	Ob.Korallen- oolith	K 101	637	5,0	16,5	MÜLLER u.a. 1986a
	"	"	654	$5 \cdot 10^{-3}$	13,5	"
	"	"	656		7,3	"
	"	"	676	$3,5 \cdot 10^{-4}$	7,0	"
	"	"	684	$9,3 \cdot 10^{-3}$	8,9	"
	Mittl.Korallen- oolith	"	690	$2,3 \cdot 10^{-2}$	13,9	"
	"	"	693	$2,5 \cdot 10^{-2}$	11,4	"
	"	"	707	$2 \cdot 10^{-1}$	19,3	"
	"	"	709	$1,3 \cdot 10^{-2}$	15,6	"
	Unt.Korallen- oolith	"	714	$3,2 \cdot 10^{-2}$	12,8	"
	"	"	740		17,6	"
	"	"	745		15,7	"
	"	"	772	$1 \cdot 10^{-3}$	13,4	"

Stratigraphie	Lithologie	Bohrg. Nr.	Teufe (m)	Permeabil. (md)	Effekt. Porosität	Quelle
Ob.Korallen- colith	Mergel- Kalkstein	3/142		$3 \cdot 10^{-3}$	3,2	KULL 1986
"	"	"		$1,7 \cdot 10^{-1}$	5,2	"
"	"	"		$3,5 \cdot 10^{-1}$	3,7	"
"	"	"		$1,8 \cdot 10^{-2}$	3,8	"
"	"	"		$8,2 \cdot 10^{-1}$	6,6	"
"	"	"		$1,4 \cdot 10^{-2}$	4,9	"
Mittl.Korallen- colith	Kalkstein erzführend	"		$4,7 \cdot 10^{-3}$	14,9	"
"	"	"		$2,4 \cdot 10^{-3}$	13,0	"
"	Mergel-Kalkst.	"		$1 \cdot 10^{-4}$	3,2	"
"	"	"		$1 \cdot 10^{-2}$	3,9	"
"	"	"		$1,5 \cdot 10^{-3}$	4,7	"
"	"	"			4,5	"
"	Kalk-Mergelst.	"			3,1	"
"	"	"		$3,5 \cdot 10^{-3}$	3,4	"
"	Eisencolith	"		$< 10^{-4}$	3,9	"
"	"	"		$< 10^{-4}$	1,7	"

Stratigraphie	Lithologie	Bohrg. Nr.	Teufe (m)	Permeabil. (md)	Effekt. Porosität	Quelle
Korallencolith	kalk.Sandst.	1/1		10^{-3}	13,5	MÜLLER u.a. 1986b
"	sand.Kalkst.	"		$<4,2 \cdot 10^{-4}$	15,1	"
"	tonig kalk. Sandst.	"		$3,7 \cdot 10^{-2}$	9,98	"
"	tonig sand. Kalkst.	"		$4 \cdot 10^{-3}$	6,6	"
"	sand.Kalkst.	1/2			5,0	"
"	tonig sand. Kalkst.	"			9,4	"
"	Kalkst.	"		$2,3 \cdot 10^{-3}$	6,9	"
"	sand.Kalkst.	"		$<8,2 \cdot 10^{-4}$	7,7	"
"	ton.Kalkst.	"			4,9	"
"	sand.Kalkst.	1/6			2,96	"
"	Kalkst.	2/23		$3,9 \cdot 10^{-2}$	13,7	"
"	sand.Kalkst.	"		$2 \cdot 10^{-3}$	7,2	"
"	sand.Kalkst.	4/111		$3,3 \cdot 10^{-2}$	15,3	"
"	Kalkst.	"		0,58	16,5	"
"	Kalkst.	"		$3,5 \cdot 10^{-3}$	5,7	"
"		4/112		$>5,3 \cdot 10^{-4}$	8,7	"
"		"		$5 \cdot 10^{-2}$	6,2	"
"	kalk.sand. Tonst.	"		$1 \cdot 10^{-2}$	9,0	"
"	tonig sand. Kalkst.	"		$7,5 \cdot 10^{-3}$	10,8	"
"	"	"		$3,8 \cdot 10^{-2}$	4,6	"
"	"	"		$9 \cdot 10^{-3}$	3,3	"
"	"	"		$1,25 \cdot 10^{-3}$	2,3	"
"	sand.Kalkst.	"		0,25	13,6	"
"	Kalkst.	"		$7 \cdot 10^{-3}$	5,21	"

Stratigraphie	Lithologie	Bohrg. Nr.	Teufe (m)	Permeabil. (md)	Effekt. Porosität	Quelle
Korallenoolith	sand.Kalkst.	5/102		$<5,4 \cdot 10^{-4}$	1,7	MÜLLER u.a.1986b
"	"	"		$<1 \cdot 10^{-4}$	5,12	"
"	sand.Mergelst.	5/103		$<5,2 \cdot 10^{-4}$	4,4	"
"	tonig sand. Kalkst.	6/12		$<5 \cdot 10^{-4}$	2,9	"
"	sand.Kalkst.	"		$2,6 \cdot 10^{-3}$	8,6	"
"	ton.Kalkst.	"		$<5 \cdot 10^{-4}$	1,3	"
"	sand.Kalkst.	6/13		$<5 \cdot 10^{-4}$	0,84	"
"	sand.Kalk- Mergelst.	"		$1,7 \cdot 10^{-2}$	4,2	"
"	kalk.ton. Sandst.	"		$5 \cdot 10^{-4}$	2,0	"
"	sand.Kalkst.	6/19		$<5 \cdot 10^{-4}$	0,1	"
"	Kalkst.	"		$8 \cdot 10^{-4}$	0,9	"
"	sand.Kalkst.	"		$<4,7 \cdot 10^{-4}$	1,3	"
"	kalk.Sandst.	6/15		$2,9 \cdot 10^{-2}$	3,3	"
"	sand.Kalkst.	"		$6 \cdot 10^{-3}$	9,2	"
"	Kalksandst.	6/16		$<4,9 \cdot 10^{-4}$	3,8	"
"	sand.Kalkst.	6/17		$<7,5 \cdot 10^{-4}$	3,2	"
"	ton.sand. Kalkst.	"		$1,8 \cdot 10^{-3}$	4,4	"
"	sand.Kalkst.	6/19		$<2,1 \cdot 10^{-4}$	4,6	"
"	ton.sand. Kalkst.	"		$<5,3 \cdot 10^{-4}$	5,8	"

Stratigraphie	Lithologie	Bohrg. Nr.	Teufe (m)	Permeabil. (md)	Effekt. Porosität	Quelle
Dogger						
	Cornbrash	3/150			10,1	MÜLLER u.a. 1988
	"	"		0,14	9,05	"
	"	"		$<1,7 \cdot 10^{-3}$	7,6	"
	"	"		$<1,7 \cdot 10^{-3}$	14,1	"
	"	"		$3 \cdot 10^{-2}$	15,0	"
	"	"		$<1,7 \cdot 10^{-3}$	1,4	"
	"	"		$4,7 \cdot 10^{-3}$	9,3	"
	"	"		$<1,7 \cdot 10^{-3}$	8,4	"
	"	"		$<4 \cdot 10^{-5}$	4,7	"
	"	"		$<6 \cdot 10^{-3}$	11,7	"
	"	"	*	$4,5 \cdot 10^{-4}$	11,7	"
Mittel-						
	Callovium	K 101	776	$<1 \cdot 10^{-5}$	5,9	MÜLLER u.a. 1986a
	"	"	787	$4 \cdot 10^{-5}$	13,2	"
	"	"	807	$7 \cdot 10^{-5}$	11,0	"
	"	"	821	$4 \cdot 10^{-4}$	12,1	"
	"	"	836	$1 \cdot 10^{-2}$	13,3	"
	"	"	848		9,6	"
Unter-						
	Callovium	"	861	$<4 \cdot 10^{-5}$	11,1	"
Ober-						
	Bathonium	"	873	$1,7 \cdot 10^{-2}$	11,5	"
Ober-Bajocium		"	910	$1 \cdot 10^{-4}$	10,3	"
"		"	914	$1,2 \cdot 10^{-4}$	5,9	"
"		"	959	$<5 \cdot 10^{-5}$	12,9	"
"		"	976	$<3 \cdot 10^{-5}$	10,0	"