



DECKBLATT

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfg. Nr.	Rev.
EU 216.1	9K		EGA	RB	0011	00

Titel der Unterlage: Ableitung hydraulischer Kennwerte für das hydrogeologische Modell- gebiet Konrad	Seite: I.
	Stand: Dez. 1988
	Textnummer:
Ersteller: BGR,	

Stempelfeld:

PSP-Element TP.....:		zu Plan-Kapitel: 3.1.9	
		PL <small>Freigabe im Behörde</small>	PL <small>Freigabe im Projekt</small>

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 216.1	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			EGA	RB	0011	00

Titel der Unterlage: Ableitung hydraulischer Kennwerte für das hydrogeologische Modell- gebiet Konrad	Seite: I.
	Stand: Dez. 1988

Rev.	Revisionsd. 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

Ableitung hydraulischer Kennwerte für das
hydrogeologische Modellgebiet Konrad.

Sachbearbeiter:



Datum:

Dezember 1988

Archiv Nr.:

103 975

Tagebuch Nr.:

12 397/88

INHALT

		Seite
1	Problemstellung	1
2	Ableitung hydraulischer Kennwerte aus hydrogeologischen Untersuchungen und Auswertungen	4
2.1	Generelle Überlegungen	4
2.2	Durchlässigkeit	5
2.3	Porosität	6
2.3.1	Begriffsbestimmung für geohydraulische Modelluntersuchungen	6
2.3.2	Porositätswerte aus Feld- und Laboruntersuchungen	9
2.3.3	Gegenüberstellung von abgeleiteten und theoretischen Porositätswerten	12
3	Übersicht über die für das Gebiet Konrad vorliegenden Daten	14
4	Hydraulische Kennwerte für einzelne Modellschichtglieder im Gebiet Konrad	17
4.1	Oberer Muschelkalk	17
4.2	Keuper, Lias, Dogger	17
4.2.1	Tonsteine	17
4.2.2	Sandsteine	18
4.2.3	Cornbrash	19
4.3	Oxford	20
4.4	Oberer Malm, Wealden	21
4.5	Unterkreide (Valangin-Alb)	22
4.5.1	Sandsteinhorizonte: Valangin, Hilssandstein	22
4.5.2	Tonsteine	23
4.6	Plänerkalk	23
4.7	Emscher Mergel	24
4.8	Lockergesteine des Tertiär-Quartär	25
5	Zusammenfassung	27
6	Schriftenverzeichnis	28

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 ([REDACTED] 1986, PTB 1986).

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

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

Schichteinheit	Durchlässig- keitsbeiwerte 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, Ton- und Mergelsteine	10^{-10}	10
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 theoretischen Grundlagen zur Bearbeitung dieser Fragestellungen wurden im Rahmen neuerer Forschungsarbeiten genauer definiert ([REDACTED] 1988a, 1988 b). Außerdem wurde eine umfassende Auswertung von Archivunterlagen und Literaturangaben über hydraulische Kennwerte der o.g. Schichteinheiten für den weiteren Umkreis um das Gebiet Konrad durchgeführt ([REDACTED] 1988). Darauf aufbauend werden im vorliegenden Bericht die generellen Möglichkeiten der Ableitung hydraulischer Kennwerte für das Gebiet Konrad sowie die Größenordnung vorliegender Daten hydraulischer Kennwerte und deren Übertragbarkeit auf das Modellgebiet Konrad diskutiert.

2 ABLEITUNG HYDRAULISCHER KENNWERTE AUS HYDRO- GEOLOGISCHEN UNTERSUCHUNGEN UND AUSWERTUNGEN

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 und Quartärs - Festgesteine mit Fugendurchlässigkeit bzw. Poren- und Fugendurchlässigkeit.

Die modellmäßige Beschreibung der Ausbreitung von Inhaltsstoffen im Grundwasser basiert u.a. auf den Parametern

Durchlässigkeit	k_f
Porosität	n
Diffusionskoeffizient	D
Dispersionslänge	αL
Matrixtortuosität	τ

(vgl. z.B. XXXXXXXXXX 1988 a).

Im Folgenden wird diskutiert, inwieweit hydraulische Kennwerte für Festgesteine, insbesondere für die im Gebiet Konrad verbreiteten lithostratigraphischen Einheiten, durch hydrogeologische Untersuchungen und Auswertungen abgeleitet werden können, wobei sich die Diskussion auf die Parameter Durchlässigkeit und Porosität beschränkt. Die abgeleiteten Porositätswerte werden den für geohydraulische Modelluntersuchungen einzusetzenden Parametern gegenübergestellt.

2.2 Durchlässigkeit

In der hydrogeologischen Literatur wird das hydraulische Leitvermögen von Festgesteinen im allgemeinen als Gebirgsdurchlässigkeit bezeichnet, die sich aus der Trennfugendurchlässigkeit und der Gesteinsdurchlässigkeit zusammensetzt ([REDACTED] 1983, S.105, [REDACTED] 1981, S.31). Dabei stellt die Trennfugendurchlässigkeit die Durchlässigkeit des Gebirges aufgrund seiner Zerlegung durch mechanisch und chemisch verursachte Trennfugen (Spalten, Klüfte, Schichtfugen, Lösungshohlräume) dar ([REDACTED] et al. 1969), während die Gesteinsdurchlässigkeit als die Durchlässigkeit definiert wird, die durch die Porenräume des nicht von Trennfugen zerlegten Gesteinskörpers bedingt ist ([REDACTED] 1983, S.105). Es 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 z.B. bei Sandsteinen auch die Durchlässigkeit der Matrix von Bedeutung sein kann.

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

Die Durchlässigkeit 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 ([REDACTED] 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 gelten zunächst nur für die nächste Umgebung des Bohrloches und sind nicht unbedingt für ein größeres Gebiet repräsentativ.

Weitere Durchlässigkeitswerte liegen aus Labormessungen an Kernmaterial vor. Diese Laborwerte sind durch die in der Erdöl- und Erdgasprospektion übliche Bestimmung der absoluten Gasdurchlässigkeit von Gesteinen (■■■■■ 1984, S.176) ermittelt und als Permeabilitätswerte (in millidarcy) angegeben. Aus den Permeabilitätswerten lassen sich größenordnungsmäßig k_f -Werte ableiten (1 md entspricht ungefähr einem k_f -Wert von 10^{-8} m/s bei Wasser von 4°C, ■■■■■ 1975, S. 11). Durch die Labormessungen wird die Durchlässigkeit der Gesteinsmatrix erfaßt, nicht jedoch die makroskopische Trennfugendurchlässigkeit. Zur geohydraulischen Betrachtung des Kluftsystems (Gültigkeit des Darcy-Gesetzes) der im Gebiet der Grube Konrad verbreiteten Kluftwasserleiter wird in einem gesonderten Bericht Stellung genommen (■■■■■ 1988a). Ebenso wird die Möglichkeit der Ableitung von Durchlässigkeitswerten aus geophysikalischen Bohrloch-Logs an anderer Stelle diskutiert.

2.3 Porosität

2.3.1 Begriffsbestimmung für geohydraulische Modelluntersuchungen (nach VOGEL 1988b)

Zunächst wird versucht, eine Abgrenzung der in der Geohydraulik verwendeten Begriffe von Porosität zu geben:

In einem Grundwasserleiter denke man sich ein Kontrollvolumen abgegrenzt. Der volumetrische Anteil des Kontrollvolumens,

welcher von der Matrix, dem Feststoffskelett, erfüllt ist, wird mit θ_M bezeichnet. Der volumetrische Anteil des Kontrollvolumens, welcher nicht von der Matrix erfüllt ist, heißt Gesamtporosität und wird mit n bezeichnet. Formal ergibt sich

$$n = 1 - \theta_M.$$

Fließbewegungen des Grundwassers können nur dort stattfinden, wo keine Matrix vorhanden ist. Nun sei weiter davon ausgegangen, daß der nicht durch Matrix besetzte Anteil des Kontrollvolumens vollständig mit Wasser gefüllt sei. Jetzt sind zwei Fälle zu unterscheiden:

- a) Ein Teil des Wassers ist bei Anliegen eines hydraulischen Gradienten konvektiv transportierbar. Das Volumen dieses Wassers, bezogen auf das Volumen des Kontrollvolumens, wird mit θ_m oder n_e bezeichnet.

Anschaulich: Dieser mobile, fließfähige Teil des Wassers befindet sich in einem Netzwerk miteinander verbundener Poren- oder Kluftkanäle.

- b) Ein Teil des Wassers ist bei Anliegen eines hydraulischen Gradienten nicht konvektiv transportierbar. Das Volumen dieses Wassers, bezogen auf das Volumen des Kontrollvolumens, wird mit θ_{im} bezeichnet. Dieses Wasservolumen kann ganz oder zum Teil durch molekulare Diffusion am Stofftransport beteiligt sein.

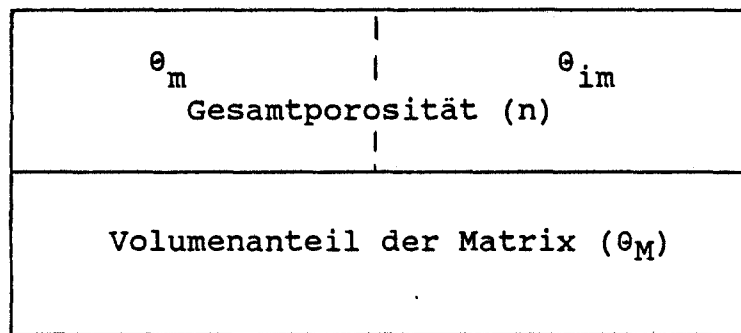
Anschaulich: Dieser nicht mobile Teil des Wassers

- ist an die Oberfläche der Matrix gebunden,
- befindet sich in "Dead - End" - Poren,
- befindet sich bei Kluftwasserleitern im Porenraum der Gesteinsmatrix, in der konvektiver Transport gegenüber dem in den Klüften vernachlässigbar ist.

Als formale Folgerung ergibt sich zunächst:

$$n = \theta_m + \theta_{im} = n_e + \theta_{im}.$$

Das folgende Schema verdeutlicht die Aufteilung des Kontrollvolumens, wobei die relative Größe der einzelnen Bereiche jedoch, je nach Situation, erheblich schwanken kann.



Die einzelnen Begriffe können folgendermaßen definiert werden:

- n = $\theta_m + \theta_{im}$ für einen vollkommen mit Wasser gesättigten Gesteinskörper,
- n_e = θ_m = abflußwirksamer Porenanteil ("effektive" Porosität),
- θ_m = volumetrischer Gehalt an mobilem Wasser
 = Volumen mobiles Wasser pro Volumeneinheit des porösen Mediums,
- θ_{im} = volumetrischer Gehalt an immobilem Wasser
 = Volumen immobiles Wasser pro Volumeneinheit des porösen Mediums.

Die Einheit für alle Porositätswerte ist (m^3/m^3) oder %.

2.3.2 Porositätswerte aus Feld- und Laboruntersuchungen

In der hydrogeologischen Literatur wird eine Vielzahl von Begriffen für die Porosität verwendet, die oft nicht eindeutig definiert sind.

Nach [REDACTED] (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"),
- Porosität, die durch den Gehalt des an Tonminerale und hydratisierte Minerale gebundenen Wassers bedingt ist.

Für hydraulische Betrachtungen der Grundwasserbewegung wird im allgemeinen die nutzbare Porosität berücksichtigt, welche das unter üblichen Druckverhältnissen fließfähige und somit nutzbare Wasser repräsentiert [REDACTED] 1981, S.7).

Die nutzbare Porosität entspricht im wesentlichen den Begriffen der effektiven und der kinematischen Porosität nach LLAMAS und dem abflußwirksamen Porenanteil (n_e), wie auf S. 8 definiert. Sie wird auch als der Volumenanteil definiert, in dem sich Wasser effektiv bewegen kann ([REDACTED] 1986, S.24, [REDACTED] 1971, S.280). Bei Festgesteinsaquiferen setzt sich die nutzbare Porosität aus nutzbarem Kluftvolumen und nutzbarem Porenraum zusammen.

Bei Betrachtungen des Stofftransportes im Grundwasser wird die Porosität zur Berechnung der Abstandsgeschwindigkeit (average linear velocity, [REDACTED] 1979) benötigt entsprechend der Gleichung

$$v_o = v_f/n_e,$$

wobei

- v_o = Abstandsgeschwindigkeit,
- v_f = Filtergeschwindigkeit,
- n_e = abflußwirksamer Porenanteil

ist ([REDACTED] 1975, S.256).

Die Abstandsgeschwindigkeit entspricht der Filtergeschwindigkeit geteilt durch den von den durchströmten Poren eingenommenen Volumen-Anteil ([REDACTED], S.71).

In der weiteren Diskussion werden folgende Begriffe verwendet:

- abflußwirksame = "nutzbare" Porosität, entsprechend der o.a. Definition (S. 8),
- Matrixporosität = Gesamtporosität der Gesteinsmatrix,
- Kluftporosität = Volumenanteil der Kluft Hohlräume.

Zur Bestimmung dieser Parameter werden verschiedene Methoden angewendet. Nach [REDACTED] (1983, S.15 f) kann die nutzbare Porosität ermittelt werden

- 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 die 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, indem die Porosität als Verhältnis von Porenvolumen zum Gesamtvolumen ermittelt wird ([REDACTED] 1984, S.176). Die so bestimmte Porosität wird im allgemeinen als "effektive" Porosität bezeichnet. Bei grobkörnigen Sedimenten können die im Labor gemessenen Porositätswerte, die abflußwirksame Porosität wie auch die Matrixporosität relativ gut übereinstimmen. In gering durchlässigen Gesteinen weicht die im Labor bestimmte Porosität generell stark von der abflußwirksamen Porosität ab (vgl. z.B. [REDACTED] 1975, S.7). Die Laborwerte für gering durchlässige Gesteine geben im allgemeinen die Größenordnung der Matrixporosität angenähert wieder, wobei die im Labor gemessene Porosität gleich oder kleiner als die Matrixporosität (= Gesamtporosität der Matrix) ist, da sehr feine Poren durch die Bestimmung in einer Sättigungsflüssigkeit nicht erfaßt werden (Totporosität).

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 abflußwirksame Porenraum, sondern auch die Gesamtporosität der Gesteinsmatrix (Matrixporosität) von Bedeutung. Bei Grundwasserbewegungen und Stofftransport in tonigen Gesteinen spielen neben den hydraulischen Vorgängen auch physikalische Wechselwirkungen zwischen Gestein, Wasser und Stoffkonzentration eine wesentliche Rolle.

Für die Ermittlung des Stofftransportes in feinkörnigen Sedimenten wurde von [REDACTED] (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 ([REDACTED] 1985, S.798).

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

Die für die Betrachtung von langfristigen Stofftransportvorgängen in klüftigen Festgesteinen relevanten theoretischen Zusammenhänge sind bei [REDACTED] (1988 a, 1988 b) diskutiert.

Zur Ableitung von Porositätswerten aus geophysikalischen Bohrloch-Logs wird in einem gesonderten Bericht Stellung genommen.

2.3.3 Gegenüberstellung von abgeleiteten und theoretischen Porositätswerten

Entsprechend den für einzelne Schichtglieder im Gebiet Konrad vorliegenden Porositäts-Meßwerten und aus der Literatur verfügbaren Vergleichswerten können Daten für folgende Größen angegeben werden:

- Labormeßwerte, die in der Größenordnung meist etwa der Matrixporosität entsprechen,
- verallgemeinerte Abschätzungen der abflußwirksamen Porosität (n_e , Definition s. S.8),

- generelle Erfahrungswerte des Klufthohlraumvolumens,
- Gesamtporenraum
= Klufthohlraumvolumen + Matrixporenvolumen.

Für grobkörnige Sandsteine mit Porendurchlässigkeit kann n_e oft angenähert aus Laborwerten abgeschätzt werden. θ_{im} ist relativ klein.

In Kluftwasserleitern sind die Laborwerte $\leq \theta_{im}$; n_e entspricht überwiegend der Kluftporosität.

Bei Tonsteinen erfassen die Laborwerte im allgemeinen angenähert θ_{im} und in der Größenordnung auch die Gesamtporosität (n). n_e ist viel kleiner als θ_{im} .

3 ÜBERSICHT ÜBER DIE FÜR DAS GEBIET KONRAD VORLIEGENDEN DATEN

Zusammenstellungen über hydraulische Kennwerte für das Gebiet der Grube Konrad finden sich bei [REDACTED] (1985), [REDACTED] (1986) und [REDACTED] (1988). Die durch Bohrlochtests an der Bohrung Konrad 101 gewonnenen hydraulischen Daten sind bei [REDACTED] (1985) aufgeführt. Eine umfassende Zusammenstellung der für den Bereich Konrad und dessen weitere Umgebung vorliegenden hydraulischen Daten gibt der Bericht "Repräsentative hydraulische Parameter für den Bereich Konrad" ([REDACTED] 1988). In diesem Bericht sind vorliegende Meßgrößen hydraulischer Kennwerte und deren Bandbreite ausführlich dargestellt.

Die hydraulischen Eigenschaften der verschiedenen lithostratigraphischen Einheiten sind sehr unterschiedlich durch Daten belegt. Relativ umfangreiche Informationen liegen für den erzführenden Horizont der Grube Konrad (Korallenoolith) sowie Öl- und Gasträgerhorizonte in der weiteren Umgebung (Rhät, Dogger β , Lias α , Valangin, Wealden) vor.

Für Oberen Muschelkalk, Tonsteine des Lias und des Keuper und Emscher-Mergel sind aus dem Gebiet Konrad selbst keine hydraulischen Daten bekannt. Wenig belegt sind hydraulische Kennwerte für die Tonsteinfolgen von Dogger und Unterkreide und die Mergelsteine des Oberen Jura ([REDACTED] 1988).

Soweit für bestimmte lithostratigraphische Einheiten keine ausreichenden Meßdaten vorliegen, müssen Kennwerte von petrofaziell vergleichbaren Gesteinseinheiten übernommen werden. Hierzu können die Ergebnisse einer generellen Auswertung der für den Bereich Konrad bekannten Durchlässigkeitswerte nach petrofaziellen Einheiten ([REDACTED] 1988) sowie in der Literatur veröffentlichte Durchschnittswerte aus weiter entfernten Gebieten herangezogen werden.

Danach ergeben sich folgende Größenordnungen für die hydraulischen Kennwerte bestimmter petrofazieller Einheiten:

Sandsteine:

k_f -Werte:

im weiteren Gebiet Konrad deutliches Häufigkeitsmaximum um $1 \times 10^{-6} - 5 \times 10^{-5}$ m/s ([REDACTED] 1988, S.47).

Sandsteine des Germanischen Mesozoikums: $10^{-8} - 10^{-3}$ m/s mit bevorzugten Häufungen um $5 \times 10^{-6} - 5 \times 10^{-5}$ m/s (Literaturangaben vgl. [REDACTED] 1981, [REDACTED] 1988, S.12).

Porosität:

Laborwerte im weiteren Gebiet Konrad: 20 - 25 % ([REDACTED] 1988, Tab.3),

Germanisches Mesozoikum: bevorzugt in der Größenordnung 10 - 25 % ([REDACTED] 1988, S.13).

Kluftwasserleiter:

k_f -Werte:

repräsentative Werte im Gebiet Konrad: $10^{-8} - 10^{-6}$ m/s ([REDACTED] 1988, Tab.2),

nicht verkarstete Karbonatgesteine generell:

$< 10^{-9} - 10^{-5}$ m/s ([REDACTED] 1983, S.25).

Porosität:

n_e = Kluftvolumen: 0.5 - 5 %

(nach Literaturangaben, [REDACTED] 1988, S.14).

Entsprechend dieser erheblichen Bandbreite kann das Kluftvolumen generell nicht mit ausreichender Genauigkeit quantifiziert werden, soweit keine Spezialbeobachtungen vorliegen. Mit zunehmender Tiefe kann in nicht verkarsteten Karbonatge-

steinen mit einer Abnahme des Kluftvolumens gerechnet werden, wobei jedoch keine quantitativen Angaben zur Tiefenabhängigkeit des Kluftvolumens aus der Literatur bekannt sind.

θ_{im} : Laborwerte für Cornbrash, Korallenoolith, Plänerkalk = 10 % ($\geq 7 - \leq 13$ %).

Mergel und Mergelsteine:

(gering durchlässige Kluftwasserleiter)

k_f -Werte:

generell kleiner als in Kluftwasserleitern und größer als in Tonsteinen: $\leq 10^{-8}$ m/s (vgl. [REDACTED] 1988, S.14f.),

n_e = Kluftvolumen: < 1 %,

θ_{im} : etwa 10 - 20 %.

Tonsteine und Tonmergelsteine

k_f -Werte:

weiteres Gebiet Konrad: $< 10^{-11} - 10^{-10}$ m/s ([REDACTED] 1988, S.47),

Bohrlochtests K101: $< 10^{-11}$ m/s,

oberflächennahe Unterkreide-Tonsteine: $10^{-10} - 10^{-6}$ m/s,

im Mittel etwa 10^{-7} m/s ([REDACTED] u.a. 1983),

pelitische Gesteine im allgemeinen: deutlich unter 10^{-8} m/s,

in der Größenordnung $10^{-12} - 10^{-10}$ m/s

([REDACTED] 1983, S.207).

Porosität:

θ_{im} 5.9 - 20.8 %, im Mittel etwa 15 % ([REDACTED] 1988).

Die für einzelne Schichtglieder im Gebiet Konrad als repräsentativ anzusehenden hydraulischen Kennwerte werden in Kapitel 4 diskutiert und sind in Tabelle 2 summarisch zusammengestellt.

4 HYDRAULISCHE KENNWERTE FÜR EINZELNE MODELLSCHICHTGLIEDER IM GEBIET KONRAD

4.1 Oberer Muschelkalk

Der Obere Muschelkalk ist im Gebiet Konrad durch bankige Kalksteine und Kalkstein-Tonstein-Wechselfolgen vertreten. Im oberflächennahen Bereich bildet der Obere Muschelkalk einen Kluftwasserleiter, nimmt jedoch im Gebiet Konrad einen Tiefenbereich ein (bis zu 2500 m unter Gelände), in dem mit einer stark eingeschränkten Kluftdurchlässigkeit zu rechnen ist.

Meßwerte hydraulischer Parameter liegen für den Oberen Muschelkalk aus dem weiteren Gebiet Konrad nicht vor. Entsprechend dem generellen Bereich hydraulischer Kennwerte von klüftigen Karbonatgesteinen (S. 15) und der Tiefenlage können ein k_f -Wert $\leq 10^{-6}$ m/s und Porositätswerte n_e (= Kluftvolumen) ≤ 1 %, θ_{im} ca. 10 % angenommen werden.

4.2 Keuper, Lias, Dogger

Die Abfolge Keuper - Lias - Dogger ist im weiteren Gebiet Konrad vorwiegend durch Tonsteine mit mehreren Sandstein-Tonstein-Wechselfolgen vertreten. Sandige Einlagerungen treten im Mittleren Keuper (Schilfsandstein), Oberen Keuper (Rhät-Sandstein), Unteren Lias (Lias -Sandstein) und Unteren Dogger (Dogger β -Sandstein) auf.

4.2.1 Tonsteine

Bei Bohrlochtests im Dogger-Tonstein wurden in der Bohrung K101 k_f -Werte von $< 10^{-11}$ - 10^{-10} m/s gemessen ([REDACTED] 1985). Labormessungen an Kernen der Bohrung K101

██████████ u.a. 1986a) ergaben $k_f < 10^{-13} - 10^{-10}$ m/s, Porosität 5.9 - 13 % (Mittelwert 10.6 %). Entsprechend sind folgende Kennwerte einzusetzen:

$$k_f \leq 10^{-10} \text{ m/s,}$$
$$\theta_{im} \geq 10 \text{ \%}.$$

Für Tonsteine des Lias und des Keuper liegen keine Meßwerte vor. Es kann angenommen werden, daß die hydraulischen Kennwerte in der Größenordnung mit denen der Dogger-Tonsteine übereinstimmen.

4.2.2 Sandsteine

Für den Schilfsandstein (Mittlerer Keuper) liegen keine Meßwerte vor. Für Sandsteine des Rhät, Lias α und Dogger β werden von Öl- und Gasbohrungen aus der weiteren Umgebung von Konrad (Gifhorner Trog) folgende Werte angegeben (██████████ 1988, S.42):

Rhät-Sandstein:

k_f (Laborwerte) überwiegend zwischen 10^{-9} und 10^{-6} m/s,
Porosität (Labor) 3 - 30 %.

Lias α -Sandstein:

k_f (Labor) überwiegend zwischen 10^{-10} und 10^{-6} m/s,
Porosität (Labor) 6 - 25 %.

Dogger β -Sandstein:

k_f (Labor) Häufung bei $10^{-6} - 10^{-5}$ m/s,
Porosität (Labor) 15 - 25 %.

Für den Rhät-Sandstein kann entsprechend der Häufigkeitsverteilung der k_f -Werte ([REDACTED] 1988, S.42 u. 45) ein Durchlässigkeitswert von $< 10^{-7}$ m/s eingesetzt werden.

Die Sandsteinhorizonte des Lias und Dogger β , die in Teilen des Gifhorner Troges Kohlenwasserstoff-Speichergesteine bilden, sind im engeren Bereich Konrad - ebenso wie der Schilfsandsteinhorizont des Mittleren Keuper - als Wechselfolgen von dünnen Sandstein- und Tonsteinlagen ausgebildet, für die k_f -Werte von $< 10^{-7}$ m/s anzunehmen sind.

Für die durchschnittliche Porosität der Sandsteinhorizonte können generell Werte für 0_{im} von > 15 % angenommen werden (vgl. S.15).

4.2.3 Cornbrash

Der obere Teil des Dogger (Bathonium-Callovium) ist im Gebiet Konrad teils durch karbonatische Feinsandsteine ("Cornbrash") teils durch tonig-schluffige Ablagerungen vertreten. Die tonig-schluffigen Anteile des oberen Doggers können nach ihrer petrofaziellen Ausbildung mit den Tonsteinfolgen von Keuper-mittlerem Dogger zusammengefaßt werden (vgl. 4.2.1).

Der Cornbrash wurde in der Bohrung K 101 als karbonatzementierter Feinsandstein mit k_f -Werten von $< 10^{-11}$ m/s angetroffen. In anderen Bereichen der Grube Konrad wurden k_f -Werte um 10^{-9} m/s (Durchströmungstests in den "Cornbrash-Bohrungen" auf Schacht II) und 10^{-13} - 10^{-9} m/s (Laborwerte) ermittelt. Lokal können höhere Durchlässigkeiten im Bereich von Kluftsystemen auftreten.

Dementsprechend können folgende Kennwerte angenommen werden:

$$k_f \leq 10^{-9} \text{ m/s,}$$

lokal höhere Durchlässigkeiten in Kluftsystemen,

$$\theta_{im} \sim 10 \%,$$

n_e (\cong Kluft Hohlräum) $\ll \theta_{im}$, nicht durch Meßwerte quantifizierbar.

4.3 Oxford

Das Oxford ist im Gebiet Konrad durch oolithische Kalksteine ("Korallenoolith"), Tonsteine und Tonmergelsteine und erzführende Kalke vertreten, die einen Kluftwasserleiter bilden.

Folgende Werte hydraulischer Parameter wurden ermittelt:

k_f -Werte:

Bohrlochtests in Bohrung K101: Häufung der Meßwerte zwischen 1×10^{-10} und 5×10^{-9} m/s,

Durchströmungsmessungen im Schacht-Auflockerungsbereich:

$$10^{-7} - 10^{-4} \text{ m/s,}$$

Labormessungen: vorwiegend $< 10^{-11} - 10^{-10}$ m/s.

Auswertung von Wasserzufluß-Messungen in der Grube Konrad (u.a. 1986): $< 10^{-9}$ m/s.

Porosität:

Labormessungen an Gesteinsproben der Bohrung K 101 und der Grube Konrad: 0.1 - 20 % (Mittelwert 7.3 %).

Daraus können folgende Kennwerte abgeleitet werden:

$k_f \leq 5 \times 10^{-9}$ m/s, möglicherweise höhere Durchlässigkeiten in Kluftsystemen,

$$\theta_{im} \geq 7 \%,$$

$n_e \ll \theta_{im}$, nicht durch Meßwerte quantifizierbar.

4.4 Oberer Malm, Wealden

Die Sedimente des oberen Malm - unterste Kreide (Kimmeridge, Portland, Wealden) sind im Gebiet Konrad als eine Folge von Mergelsteinen, Kalksteinen, Tonmergelsteinen und Tonmergeln mit Anhydritlagen ausgebildet und sind als gering durchlässige Kluftwasserleiter anzusehen.

Von der Grube Konrad liegen Labormeßwerte von einer Gesteinsprobe (■■■■■ 1985) vor:

$$k_f = 2 \times 10^{-11} \text{ m/s,}$$

Porosität 3.3 %.

Von Öl- und Gasbohrungen in der weiteren Umgebung werden Laborwerte der Porosität von 5 - 22 % (Mittelwert 9.7 %) angegeben (■■■■■ 1988, Anl.2).

Das Wealden ist in Teilen des Gifhorner Troges als Kohlenwasserstoff-Speichergestein ausgebildet mit k_f -Werten von 10^{-10} - 8×10^{-5} m/s. Diese Werte sind nicht auf das engere Gebiet Konrad übertragbar, da Wealden in sandiger Fazies hier nicht vorkommt (■■■■■ 1988).

Entsprechend der faziellen Ausbildung der Sedimente können für den Abschnitt oberer Malm bis unterste Kreide folgende Kennwerte angenommen werden (vgl. S.16):

$$k_f \leq 10^{-9} \text{ m/s,}$$
$$\theta_{im} \sim 10 \%,$$
$$n_e < 1 \%.$$

4.5 Unterkreide (Valangin-Alb)

Die Sedimente der Unterkreide (Valangin, Hauterive, Barreme, Apt, Alb) sind im Gebiet Konrad als Tonsteine und Tonmergelsteine mit einzelnen sandigen Horizonten ausgebildet.

4.5.1 Sandsteinhorizonte: Valangin, Hilssandstein

Marine Sande des Valangin sind im Südwesten des Gebietes Konrad in geringer Mächtigkeit verbreitet und fehlen im Bereich der Schachtanlage (■■■■ 1988). In weiter nördlich gelegenen Teilen des Gifhorner Troges - einschließlich des Nordrandes des Modellgebietes Konrad - werden für Sandsteinhorizonte des Valangin in Erdölbohrungen Labormeßwerte von $k_f = 2 \times 10^{-10} - 2 \times 10^{-5}$ m/s angegeben (■■■■ 1988, S.21).

Labormessungen der Durchlässigkeit des Hilssandsteines im Bereich Konrad (2 Werte) liegen ebenso wie eine Messung aus dem vergleichbaren Adersheimer Sandstein bei 1.4×10^{-5} m/s. Bei einem Packertest in Bohrung K101 wurden 1×10^{-6} m/s gemessen.

Durchlässigkeitswerte für tonige Sandsteine der Hilssandstein-Folge (Gebiet Westerberg-Eimsen) liegen bei 10^{-8} m/s (■■■■ 1988, S.21 u. Anl.2).

Die Porosität des Hilssandsteines ist nach Labormessungen generell groß (≥ 25 %).

Nach den vorliegenden Werten ist der Hilssandstein als Porenwasserleiter mit $k_f \leq 10^{-5}$ m/s und $n_e \geq 25$ % anzusehen.

4.5.2 Tonsteine

Für Tonsteine und Tonmergelsteine der Unterkreide liegen folgende k_f -Wert-Bestimmungen vor ([REDACTED] 1988, S.21 u. Anl.2):

Packertests Bohrung K 101: $< 10^{-11} - 1 \times 10^{-11}$ m/s,
Labormessungen an Gesteinsproben der Bohrung K 101 und der Schachtanlage Konrad: $6 \times 10^{-14} - 5 \times 10^{-8}$ m/s,
Durchströmungstests im Schacht-Auflockerungsbereich:
 $1 \times 10^{-10} - 7 \times 10^{-8}$ m/s.
Pump- und Slugtests in oberflächennahen Tonsteinen:
 $2 \times 10^{-12} - 5 \times 10^{-6}$.

Entsprechend den Ergebnissen der Packertests in der Bohrung K 101 und den Mittelwerten von Labor-Meßreihen kann für die Unterkreide-Tonsteine eine Durchlässigkeit von $\leq 10^{-11}$ m/s eingesetzt werden.

Labormessungen der Porosität an Kernen der Bohrung K 101 liegen zwischen 5.4 und 20.8 %. Für θ_{im} kann ein mittlerer Wert in der Größenordnung von 15 % angenommen werden. n_e ist sehr klein (< 1 %).

4.6 Plänerkalk

Die Plänerkalkfolge der Oberkreide (Cenoman-Turon) umfaßt im Gebiet Konrad vorwiegend Kalksteine und Kalkmergelsteine, die einen Kluftwasserleiter bilden.

Im Labor gemessene Durchlässigkeitswerte von Gesteinsproben aus Tagesaufschlüssen und der Bohrung K 101 liegen zwischen 10^{-9} und 10^{-11} m/s. Durch Packertests an der Bohrung K 101 wurden Durchlässigkeiten von 10^{-7} bis 10^{-11} m/s ermittelt.

Die Gesteinsdurchlässigkeit beruht in erster Linie auf Kluftdurchlässigkeiten, für die der größte an Bohrlochtests ermittelte Wert (10^{-7} m/s) einzusetzen ist.

Im Labor gemessene Porositätswerte schwanken zwischen 8 und 19 % (Mittelwert 13.4 %). Für θ_{im} kann daraus ein Wert von ≥ 13 % abgeleitet werden. Zu n_e (etwa dem Kluftvolumen entsprechend) können keine quantitativen Angaben gemacht werden.

4.7 Emscher-Mergel

Die "Emscher-Mergel" der Oberkreide (Coniac-Santon) sind im Gebiet Konrad nur lückenhaft verbreitet. Wo sie in größerer Mächtigkeit verbreitet sind (im Norden, Süden und Südwesten der Schachtanlage Konrad), bestehen die "Emscher-Mergel" vorwiegend aus Kalkstein und Mergel-Kalkstein Wechselfolgen.

Werte über hydraulische Parameter des "Emscher" liegen aus der weiteren Umgebung von Konrad nur von der Bohrung Wathlingen 21 vor, in der das "Emscher" in 636 - 647 m Tiefe in sandig-kalkiger Ausbildung angetroffen wurde. Die Werte sind nicht auf die oberflächennahe mergelige Folge des "Emscher" bei Konrad übertragbar.

Die "Emscher-Mergel" im Gebiet Konrad können als gering durchlässige, in Oberflächennähe aufgelockerte Kluftwasserleiter angesehen werden, für die nach genereller hydrogeologischer Erfahrung folgende Kennwerte angenommen werden können:

$$\begin{aligned}k_f &\leq 10^{-8} \text{ m/s,} \\ \theta_{im} &= 20 \%, \\ n_e &< 1 \%. \end{aligned}$$

4.8 Lockergesteine des Tertiär-Quartär

Ablagerungen des Tertiär - tonig-schluffige bis feinsandige Lockergesteine und Kalksandsteine - treten im Modellgebiet Konrad randlich im äußersten Norden und über dem Salzstock Broistedt auf (PTB 1986, 3.1.9.1-20 und 3.1.10.3-9).

An Quartär-Lockergesteinen sind im Bereich Konrad verbreitet:

- fluviatile und glazifluviatile Sande und Kiese,
- Geschiebemergel und -lehme,
- Tone und Schluffe,
- Löß, Lößlehm, Auelehm, Niedermoortorf

(PTB 1986, 3.1.9.1-21).

Durch Pumpversuche in sandig-kiesigen Sedimenten des Quartär wurden im Bereich Konrad Durchlässigkeitswerte vorwiegend bei 10^{-4} - 10^{-3} m/s ermittelt ([REDACTED] 1988, S.15). Für die geringer durchlässigen Quartär-Ablagerungen wie auch für die Sedimente des Tertiär liegen keine Meßwerte vor.

Simulationsrechnungen zum hydrogeologischen Modell Konrad mit einem pauschalen k_f -Wert von 10^{-5} m/s für die Tertiär-Quartär-Ablagerungen ergaben realistische Werte für den Grundwasserdurchsatz. Dieser pauschale k_f -Wert kann entsprechend der generellen lithologischen Zusammensetzung und aus generellen Überlegungen zum Grundwasserhaushalt als realistischer Mittelwert angesehen werden ([REDACTED] 1986, S.17).

Meßwerte der Porosität liegen für die tertiären-quartären Lockergesteine des Gebietes Konrad nicht vor. Der für die Durchlässigkeit eingesetzte Mittelwert von 10^{-5} m/s entspricht einem schluffigen Sand oder Feinsand mit n_e zwischen 10 und 25 % und 0_{1m} zwischen 25 und 50 % (vgl. z.B. [REDACTED] 1983, S.93 u. 105, [REDACTED] 1979, S.37).

Tab. 2: Abgeleitete hydraulische Kennwerte für Schichteinheiten des Modellgebietes Konrad

flute imobiles Wasser

Schichteinheit	k_f -Wert (m/s)	θ_{im} (%)	n_e (%)	Ableitung der Kennwerte aus
Quartär und Tertiär	10^{-5}	25-50	10-25	Pumpversuchsdaten, Grundwasserbilanz
Emscher-Mergel	$\leq 10^{-8}$	≈ 20	< 1	generelle hydrogeol. Erfahrung
Plänerkalk	10^{-7}	≥ 13	nicht quantifizierbar	Feld- und Laboruntersuchungen
Unterkreide-Tonsteine	$< 10^{-11}$	≈ 15	< 1	Feld- und Laboruntersuchungen
Hilssandstein	$\leq 10^{-5}$		≥ 25	Feld- und Laboruntersuchungen
Kimmeridge, Portland, Wealden	$\leq 10^{-9}$	≈ 10	< 1	generelle hydrogeol. Erfahrung
Oxford (Korallenoolith)	$\leq 5 \times 10^{-9}$ lokal höhere Kluftdurchlässigkeit	≥ 7	nicht quantifizierbar	Feld- und Laboruntersuchungen
Cornbrash	$\leq 10^{-9}$ lokal höhere Kluftdurchlässigkeit	≈ 10	nicht quantifizierbar	Feld- und Laboruntersuchungen
Keuper, Lias, Dogger-Sandsteinhorizonte	$< 10^{-7}$		≥ 15	Vergleichswerte aus der weiteren Umgebung
-Tonsteine	$\leq 10^{-10}$	≥ 10		Feld- und Laboruntersuchungen und Vergleichswerte
Oberer Muschelkalk	$\leq 10^{-6}$	≈ 10	≤ 1	Generelle hydrogeol. Erfahrung

5 ZUSAMMENSETZUNG

Für die modellmäßige Betrachtung der langfristigen Ausbreitung von Inhaltsstoffen im Grundwasser werden Daten für folgende hydraulische Kenngrößen benötigt:

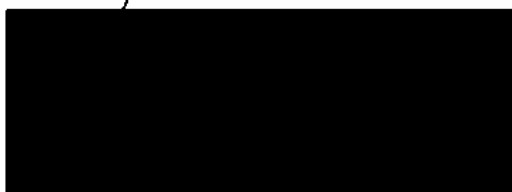
- k_f = Durchlässigkeitsbeiwert (m/s)
 n_e = abflußwirksamer Porenanteil (%),
 θ_{im} = volumetrischer Gehalt an immobilem Wasser.

Für einzelne Schichtglieder im Modellgebiet Konrad können diese Kenngrößen aus Feld- und Labormessungen abgeleitet werden. Ein Teil der im Modell zu betrachtenden Schichtglieder ist nicht oder nur ungenügend durch Meßdaten hydraulischer Kennwerte im engeren Bereich Konrad belegt. Hierfür müssen Vergleichswerte aus der weiteren Umgebung des Gebietes Konrad herangezogen oder plausible Durchschnittswerte aus genereller hydrogeologischer Erfahrung eingesetzt werden.

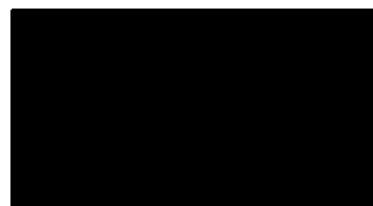
Auf der Grundlage einer umfassenden Zusammenstellung vorhandener Meßdaten werden im vorliegenden Bericht die für einzelne Schichtglieder als repräsentativ anzusehenden Kennwerte diskutiert. Die Ergebnisse dieser Diskussion sind in einer Tabelle zusammengestellt.

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE

Im Auftrag:



Sachbearbeiter:



6 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 (Archiv 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.
- DÜRBAUM, H.J., G. MATTHESS, D. RAMBOW, 1969: Untersuchungen der Gesteins- und Gebirgsdurchlässigkeit des Buntsandsteins in Nordhessen. - Notizbl. hess. L.A. Bodenforsch., 97, Wiesbaden.
- FREEZE, R.A., J.A. CHERRY, 1979: Groundwater, Englewood Cliffs.
- FRIED, J., 1975: Groundwater Pollution, Amsterdam.
- GERARDI, J., 1988: Revision von Tiefbohrungen, Bd.4 - Ber. BGR (Archiv Nr. 100 574/4), Hannover.
- HÜSER, M., CH. NEUMANN-REDLIN, 1986: Hydrogeologie im Gebiet der Grube Konrad. Grundlagen der Modellrechnungen zur Landzeitsicherheit. - Ber. BGR (Archiv Nr. 99 131), Hannover.

- IFAH (Institut für Angewandte Hydrogeologie), 1988:
Repräsentative hydraulische Parameter für den Bereich
der Grube Konrad. - Unveröff. Ber., 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 nichtverkarstungs-
fähigen Festgesteine. - Wien - New York.
- KELLER, S., H. KLINGE, 1984: Hydrogeologie KONRAD - erweiter-
ter Bereich - Zwischenbericht 1984. - Ber. BGR (Archiv
Nr. 96 603), Hannover.
- KLINGE, H., 1988: Hydrogeologie im Gebiet der Grube Konrad,
Grundlagen der Modellrechnungen für ein alternatives
hydrogeologisches Modell zur Langzeitsicherheit. -
Ber. BGR (Archiv Nr. 103 265), Hannover.
- KLINGE, H., CH. NEUMANN-REDLIN, 1985: Hydraulische
Testarbeiten in der Bohrung Konrad 101. - Ber. BGR
(Archiv Nr. 98 403), Hannover.
- KULL, H., 1986: Durchführung von petrophysikalischen Labor-
untersuchungen. Mitarbeit geowissenschaftliches Erkun-
dungsprogramm. - Ber. GSF (LV-Nr. 2222.02), Braun-
schweig.
- 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 permeabi-
lity: regional studies. - IAH Mem. 17, pt. 2, 547-558,
Tucson.

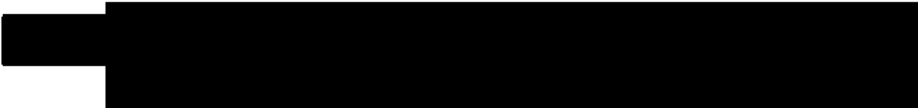
- MATTHESS, G., 1970: Beziehungen zwischen geologischem Bau und Grundwasserbewegung in Festgesteinen. - Abh. Hessisches Landesamt f. Bodenforschung, 58, Wiesbaden.
- MATTHESS, G., K. UBELL, 1983: Allgemeine Hydrogeologie Grundwasserhaushalt. - Berlin - Stuttgart.
- MICHEL, G., 1977: Die Grundwasserführung 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.
- 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: Radionuklid Ausbreitung 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.

VOGEL, P., 1988: Modellbetrachtungen zur Gültigkeit des Darcy-Gesetzes in Kluftwasserleitern der Grube Konrad.- Ber. BGR (Archiv Nr.103967), Hannover (1988a).


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).

WAGNER, W., 1988: Hydraulische Kennwerte im Gebiet der Grube Konrad. - Ber. BGR (Archiv Nr. 103 690), Hannover.

ZEINO-MAHMALAT, H., 1973: Hydrogeologie der Sackmulde bei Alfeld/Leine. - Geol. Jb., C 6, Hannover.