

## DECKBLATT

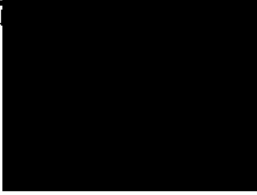
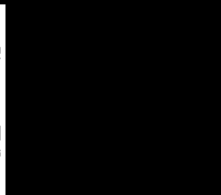
	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
EU 338	9K	352126.45		EGA	ED	0004	00

Titel der Unterlage: <b>BGR-Stellungnahme zur Auswirkung des Salinars im Mittleren Muschelkalk auf die Tiefenwasserhydraulik im Gebiet der Schachanlage Konrad (Archiv-Nr. 106340, Januar 1990)</b>	Seite: I.
	Stand: Jan. 1990

Ersteller: <b>BGR</b>	Textnummer:
--------------------------	-------------

Stempelfeld:

PSP-Element TP..9K/..: 212	zu Plan-Kapitel: 3.1.10.2, 3.1.10.3, 3.1.10.4 und 3.9
----------------------------	---

		 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.



BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE  
HANNOVER

Stellungnahme zur Auswirkung des Salinars im Mittleren  
Muschelkalk auf die Tiefenwasserhydraulik im Gebiet  
der Schachtanlage Konrad

Sachbearbeiter:



Datum

Januar 1990

Archiv.-Nr.:

106 340

Tagebuch-Nr.:

10176/90

TK 25:

3828

	<u>Inhaltsverzeichnis</u>	Seite
	Verzeichnis der Abbildungen	ii
	Verzeichnis der Tabellen	iii
1.	Veranlassung	1
2.	Hydrogeologische Verhältnisse am Standort Konrad unter Berücksichtigung der Salinität der Tiefenwässer	2
2.1	Salinität der Tiefenwässer in Schachtanlage Konrad	2
2.2	Tiefenwasserhydraulik am Standort Konrad unter Berücksichtigung der bestehenden Dichteverteilung in den Wässern	4
2.3	Entstehung und Herkunft der Tiefenwässer	10
2.4	Salz/Süßwasser-Modellrechnungen	13
3.	Modellrechnungen zur Langzeitsicherheit	15
3.1	Modellrechnungen des Antragstellers	15
3.2	Modellrechnungen der Genehmigungsbehörde	20
3.2.1	Geologische Grundlagen	21
3.2.2	Hydraulische Parameter	28
4.	Schlußfolgerungen	31
5.	Literaturverzeichnis	34

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1: Verteilung der Salzgehalte der Wässer aus der Grube Konrad in Abhängigkeit von der Entnahmetiefe	2
Abb. 2: Chlorid-Sättigung der Wässer aus der Grube Konrad in Abhängigkeit von der Entnahmetiefe	7
Abb. 3: Beziehung zwischen Bromid und Chlorid in den Konrad-Wässern	11
Abb. 4: Bereiche mit Hinweisen auf das Fehlen des Salzes des Mittleren Muschelkalk im Modellgebiet	27

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1: Vergleich der Modelleingabedaten für den Durchlässigkeitsbeiwert	29
Tab. 2: Vergleich der Modelleingabedaten für die effektive Gebirgsporosität	30

## 1. Veranlassung

Am 29.11.1989 fand zum Planfeststellungsverfahren Konrad eine gemeinsame Sitzung des Antragstellers und der Genehmigungsbehörde beim TÜV Hannover statt, bei der u.a. von der Genehmigungsbehörde Ergebnisse eigener Modellrechnungen vorgestellt wurden. Bei dem Rechenfall mit den kürzesten Porenwasserlaufzeiten ergeben sich Laufzeiten von ca. 20.000 Jahren vom Endlager zur Biosphäre. Grundlage hierfür waren neuere geologische und hydrogeologische Kenntnisse und Annahmen, die das Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung (NLfB) im Bericht "Hydrogeologische Vorgaben für die Modellrechnungen zur Langzeitsicherheit" dargelegt hatte (ECKL et. al. 1989b).

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) beauftragte daraufhin am 11.12.1989 die BGR mit der Ausarbeitung einer Stellungnahme zum NLfB-Bericht "Hydrogeologische Vorgaben für die Modellrechnungen zur Langzeitsicherheit" und einer vergleichenden Bewertung der dem Plan Konrad 3/89 zugrunde liegenden hydrogeologischen Modelle. Der folgende Bericht dient zur Erfüllung des Auftrags des BfS von 11.12.1989. Er gliedert sich in folgende Teile:

In Kapitel 2 werden zunächst die hydrogeologischen Verhältnisse am Standort Konrad unter Berücksichtigung der Salinität der Tiefenwässer dargestellt. Dabei wird kurz auf zur Zeit in der BGR im Rahmen von F+E-Arbeiten laufende Modellrechnungen unter Einbeziehung der Salinität der Porenwässer eingegangen.

Kapitel 3 enthält eine zusammenfassende Wertung der hydrogeologischen Modellvorgaben des NLfB und der BGR sowie eine Stellungnahme zur Verbreitung des Salinars im Mittleren Muschelkalk.

In Kapitel 4 erfolgt eine Bewertung der von der Genehmigungsbehörde vorgestellten Rechenergebnisse und deren Auswirkungen auf die Aussagen zur Langzeitsicherheit im Plan Konrad 3/89.

## 2. Hydrogeologische Verhältnisse am Standort Konrad unter Berücksichtigung der Salinität der Tiefenwässer

### 2.1 Salinität der Tiefenwässer in der Schachtanlage Konrad

Aus der Grube Konrad liegen Wasseranalysen von mehr als 150 Wasserproben aus dem Tiefenbereich von 0 bis 1300 m unter Gelände vor.

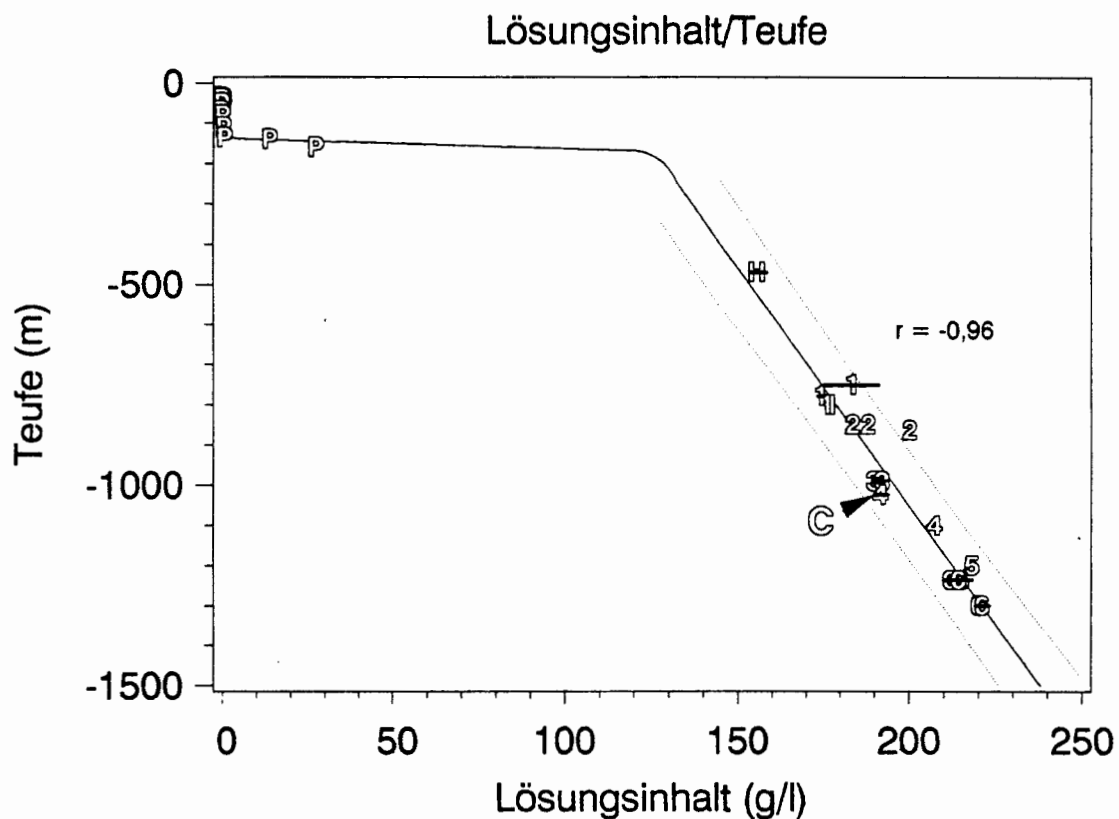


Abb. 1: Verteilung der Salzgehalte der Wässer aus der Grube Konrad in Abhängigkeit von der Entnahmetiefe

(In den Abbildungen 1 bis 3 entsprechen die Ziffern 1 bis 6 den Sohlen der Grube, auf denen die Wasserproben entnommen wurden. Die Signatur 'H' und 'C' steht für Wasserproben aus dem Hilssandstein und dem "Cornbrash" im Schacht II. Für Probenahmeorte mit Mehrfachbeprobungen



werden jeweils die Mittelwerte der Analysen und deren Standardabweichung als horizontale bzw. vertikale Balken dargestellt. Daneben wurde jeweils der Korrelationskoeffizient 'r' der Regressionsgeraden sowie der 95 %-Vertrauensbereich der Geraden als punktierte Linie beiderseits der Geraden angegeben.)

In Abb. 1 sind die Salzgehalte dieser Wässer in Abhängigkeit von der Entnahmetiefe dargestellt. Bei den analysierten Wasserproben handelt es sich zum überwiegenden Teil um Formationswässer des Korallenoolith aus dem Bereich von 800 bis 1300 m u. Gelände (Ziffern 1 bis 6) , um Wasserproben aus dem Hilssandstein (H) und dem "Cornbrash" (C), sowie um Proben aus den Plänerkalken (P). Die Wasserproben aus den Plänerkalken wurden aus Bohrungen entnommen, welche zur Erkundung des Ausbauzustandes der beiden Schächte ausgeführt worden waren.

Die Wässer aus den Plänerkalken weisen bis zu einer Tiefe von etwa 150 m durchgängig geringe Salzgehalte von weniger als 1 g/l auf. Im Tiefenbereich unterhalb von 150 m erfolgt dann ein rascher Anstieg der Salzgehalte auf bis zu 30 g/l.

Im Vergleich hierzu haben alle Wässer aus dem Grubengebäude wesentlich höhere Salzgehalte. Es ist ein kontinuierlicher, linearer Anstieg der Salzgehalte von 180 g/l im Bereich der ersten Sohle in 800 m Tiefe bis auf 220 g/l im Bereich der 6. Sohle in 1300 m Tiefe zu erkennen. An diese Tendenz paßt sich das Wasser des Hilssandstein an, obwohl Hilssandstein und Korallenoolith durch mehr als 200 m gering durchlässige Unterkreidetonsteine getrennt werden, ebenso auch das Wasser aus dem "Cornbrash" im Liegenden des Korallenoolith. Der Salzgehalt der Wasserprobe aus dem "Cornbrash"-Sandstein an der Sohle des Schachtes Konrad II in 1000 m Tiefe entspricht exakt dem Salzgehalt der Korallenoolith-Wässer im Bereich der 1000-m-Sohle.

Die Verteilung der Salzgehalte in den Wässern zeigt somit, daß im Bereich der Grube eine näherungsweise horizontale, formationsübergreifende Salinitätsschichtung besteht, durch welche der Salzge-

halt der Wasser - unabhängig von lithologischer Ausbildung und stratigrafischer Position des Wasserleiters - allein von der Tiefenlage des Entnahmeortes bestimmt wird.

## 2.2 Tiefenwasserhydraulik am Standort Konrad unter Berücksichtigung der bestehenden Dichteverteilung in den Wässern

Die zum Nachweis der Langzeitsicherheit des geplanten Endlagers Konrad durchgeführten numerischen Modellrechnungen zur Grundwasserbewegung wurden auf der Basis einer konstanten Wasserdichte (Süßwasser) durchgeführt. Ohne Berücksichtigung der vorhandenen Salinitäts- und Dichteunterschiede ergibt sich dabei, daß der Grubenbereich sowohl aus den tiefliegenden Wasserleitern des Muschelkalk und des Rhät als auch aus dem darüberliegenden Hils-sandstein angeströmt wird (PTB 1989).

Der Transport gelöster Inhaltsstoffe mit dem Grundwasser erfolgt durch zwei verschiedene Mechanismen: Konvektion und Diffusion. Wassertransport durch Konvektion erfolgt aufgrund von Druckpotentialdifferenzen, während Diffusion aufgrund von Differenzen des chemischen Potentials, d.h. Konzentrationsunterschieden gelöster Inhaltsstoffe, vor sich geht. Bestimmend für die Größe des Massenflusses sind neben den jeweiligen Potentialunterschieden die hydraulische Leitfähigkeit des betrachteten wassererfüllten geologischen Körpers und dessen spezifischer Diffusionskoeffizient. Kennzeichnend für beide Transportprozesse ist schließlich die Ausbildung von Gradienten (Druck- bzw. Konzentrationsgradienten) zwischen den Zonen hohen und niedrigen Potentials.

Da Wasser nie frei von gelösten Inhaltsstoffen ist, treten beide Transportprozesse generell nebeneinander auf. Diffusionsprozesse verlaufen jedoch im Vergleich zu konvektivem Transport sehr langsam. In Wasserleitern ist der diffusive Transport daher im

Vergleich zur Konvektion im allgemeinen vernachlässigbar klein. In gering durchlässigen Tongesteinen dagegen verläuft der konvektive Transport aufgrund der geringen hydraulischen Leitfähigkeit um Größenordnungen langsamer, wodurch die Diffusion zum gleichwertigen oder zum bestimmenden Prozeß werden kann. Beide Transportvorgänge müssen nicht notwendigerweise gleichgerichtet sein.

Aufschluß über Art, Richtung und Umfang beider Transportprozesse geben bei Kenntnis der Stoffkonstanten ( $k_f$ -Wert bzw. Diffusionskoeffizient) die Gradienten innerhalb des geologischen Körpers. Die zuverlässige Bestimmung und Interpretation von Druckpotentialen in großen Tiefen stößt jedoch auf erhebliche Schwierigkeiten, während andererseits Stoffkonzentrationen in Porenwässern vergleichsweise einfach zu bestimmen sind.

Bei der Diffusion gelöster Inhaltsstoffe zwischen Reservoiren unterschiedlicher Konzentration bildet sich - falls Konvektion vernachlässigbar ist - im dazwischen liegenden geologischen Körper zu Beginn zunächst ein nichtlineares Konzentrationsprofil aus, das beim Erreichen des Gleichgewichtszustandes in ein Profil mit konstantem Gradienten übergeht (vgl. COOK 1988).

Jede Überlagerung durch konvektiven Transport führt zu Unstetigkeiten in der Konzentrationsverteilung, insbesondere an Gesteinsgrenzen mit hohen Kontrasten in der hydraulischen Leitfähigkeit (vgl. BRIGHTMAN et. al. 1987). Gemessene Konzentrationsprofile von Porenwässern sind daher äußerst sensitive Indikatoren für die Beurteilung der Frage, inwieweit neben Diffusion auch konvektiver Stofftransport stattfindet.

Das in der Grube Konrad vorhandene lineare, formationsübergreifende Salinitätsprofil ist somit ein sicheres Indiz dafür, daß im Nahbereich des geplanten Endlagers die Diffusion gelöster Salze der dominierende Transportmechanismus ist, und die Konvektion - entgegen der Konzeption und den Ergebnissen der bisherigen Süßwasser-Modellrechnungen - nur untergeordnet vorhanden sein

kann. Diese Aussage kann auch deswegen mit hoher Sicherheit getroffen werden, weil die lineare Verteilung sowohl in den Geringleitern Korallenoolith und Cornbrash als auch im Hilssandstein, einem hoch durchlässigen Porenleiter, ausgebildet ist.

Ein linearer Anstieg der Salzgehalte von Porenwässern zur Tiefe hin ist in tiefen Sedimentbecken weltweit anzutreffen. Dies belegen zahlreiche im Verlaufe der letzten drei Jahrzehnte erschienene Arbeiten über Formationswässer (DICKY 1968). Sind im Untergrund eines Sedimentbeckens Salzablagerungen vorhanden, so erreichen die Porenwasserkonzentrationen in auflagernden Sedimenten in den überaus meisten Fällen die Sättigungskonzentration für NaCl.

Es ist daher naheliegend, auch für das Gebiet der Grube Konrad zu unterstellen, daß der im aufgeschlossenen Tiefenbereich von 470 bis 1300 m erkennbare lineare Trend der Salinitäten sich zur Tiefe hin fortsetzt, und die Salzkonzentrationen in den Wasserleitern der Trias unterhalb 2000 m Tiefe im Bereich der NaCl-Sättigung liegen.

Abb. 2 zeigt den Grad der Salzsättigung der Konrad-Wässer in Abhängigkeit von ihrer Entnahmetiefe. Als Bezugsgröße wurde der Chloridgehalt der Wässer in Beziehung zu einer Sättigungskonzentration von 5300 meq/l gesetzt. Die Verlängerung der Regressionsgeraden erreicht in ca. 2100 m Tiefe die Sättigungskonzentration für Chlorid. Dies entspricht näherungsweise der Tiefenlage des Muschelkalksalzes unterhalb der Schachanlage Konrad.

Die in der Grube anzutreffende lineare Zunahme der Salzgehalte zur Tiefe hin ist somit Beleg dafür, daß im Umfeld der Grube kein wesentlicher konvektiver Wassertransport stattfindet, sondern die Diffusion gelöster Salze zwischen gesättigten Lösungen im Untergrund und der Erdoberfläche den dominierenden Transportmechanismus darstellt. Eine flächenhafte, vertikal gerichtete Diffusion gelöster Salze bietet zudem eine schlüssige Erklärung dafür, daß Korallenoolith- und "Cornbrash"-Wässer im Bereich der dritten

Sohle eine identische Zusammensetzung aufweisen.

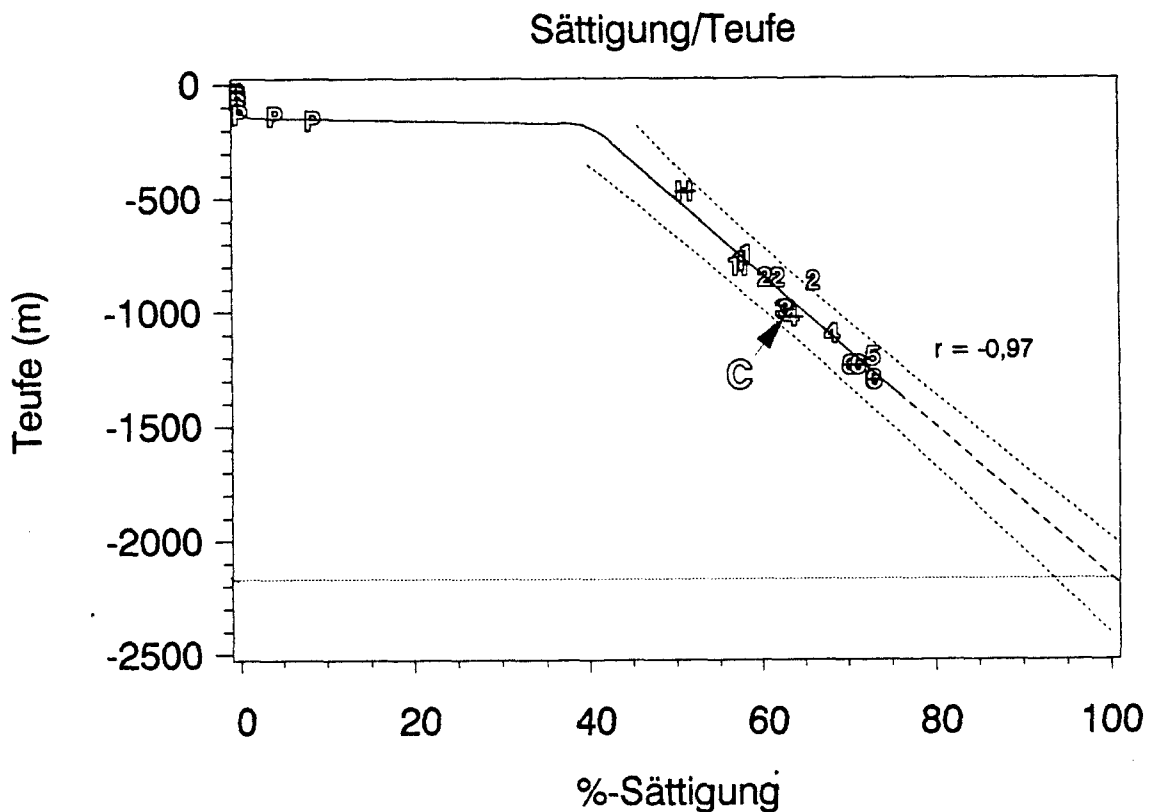


Abb. 2: Chlorid-Sättigung der Wässer aus der Grube Konrad in Abhängigkeit von der Entnahmetiefe

Inwieweit läßt sich diese Aussage mit der Tatsache in Einklang bringen, daß im Bereich des Salzgitter Höhenzuges auf topografisch erhöhtem Niveau ein erhöhtes hydraulisches Potential besteht, das in den Süßwassermodellen zu einem Wasserabstrom in die Wasserleiter der Trias und damit zu einer aufwärts gerichteten konvektiven Strömung im Bereich der Grube führt?

Der Raum Konrad befand sich ab der Wende Rhät/Jura bis zur höheren Oberkreide ständig unter Meeresbedeckung. Diese etwa 120 mio. Jahre dauernde Periode wurde nur durch eine vergleichsweise kurze,

überwiegend festländische Phase während des Wealden unterbrochen. Wegen fehlender hydraulischer Gradienten konnte es somit während dieser lang andauernden Perioden zu einem konvektiven Transport nur insofern kommen, als der zunehmende Überlagerungsdruck zu einer Verringerung des Porenraumes und damit zu einer aufwärts gerichteten Porenwasserbewegung führte.

Weiterhin kann unterstellt werden, daß Sedimente über den Salzen des Perm und der Trias stark salzhaltige Porenwässer enthielten. Eine Aufsatzung dieser Wässer konnte beispielsweise durch Verdrängung gesättigter Restporenwässer der Salze infolge des zunehmenden Überlagerungsdruckes erfolgen. Selbst wenn man unterstellt, daß in diesen Sedimenten zunächst keine stark salzhaltigen Porenwässer enthalten waren, so muß das große osmotische Potentialgefälle zwischen Salzen und Porenwässern zu einem Wassertransport in Richtung der Salze und damit verbunden zu einer Auflösung von Steinsalz bis hin zu Sättigung der Lösungen geführt haben (vgl. COOK 1988).

Da einerseits hydraulische Gradienten fehlten, andererseits aber ein ständiges starkes Konzentrationsgefälle zwischen gesättigten Lösungen im Untergrund und dem Meerwasser bestand, war die Diffusion gelöster Ionen über lange geologische Zeiträume hinweg der bestimmende Transportmechanismus.

Im Bereich der Grube stehen Salze des Mittleren Muschelkalk in etwa 2000 m Tiefe an. In MANGELSDORF et al (1970) wird darauf verwiesen, daß bei durchlässigen Porenleitern oder unkonsolidierten Tonen mit einem angenommenen effektiven Diffusionskoeffizienten von  $1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  ein Zeitraum von etwa 15 mio. Jahren benötigt wird, bis sich zwischen einer gesättigten Lösung an der Basis einer wassererfüllten 1000 m mächtigen Sedimentfolge und der Oberfläche eine lineare Konzentrationsverteilung ausgebildet hat. Bei einer 2000 m mächtigen Sedimentfolge würde die vierfache Zeit, also 60 mio. Jahre bis zum Erreichen dieses Gleichgewichtszustandes benötigt.

Bei der Anwendung dieser Überlegungen auf den Raum Konrad ist zu berücksichtigen, daß für die überwiegend tonig-mergelige Sedimentfolge des Jura und der Kreide ein bis zu etwa einer Größenordnung niedrigerer effektiver Diffusionskoeffizient als der in MANGELSDORF et. al. (1970) verwendete angesetzt werden muß. Andererseits überlagerte aber, besonders zu Beginn des betrachteten Zeitraumes, eine nur wenige hundert Meter mächtige Sedimentfolge die Salze der Trias, so daß ein stärkeres Konzentrationsgefälle als zum heutigen Zeitpunkt bestand. Insgesamt kann angenommen werden, daß sich die Diffusion während des betrachteten Zeitraumes in einem stabilen oder nahezu stabilen Gleichgewicht befand, und in den Porenwässern der Sedimente ein vertikal gerichteter konstanter Salinitätsgradient bestand. Bei Ansatz einer linearen Salinitäts- und Dichteverteilung und einer Dichte einer NaCl-gesättigten Lösung von  $1200 \text{ kg/m}^3$  ergibt sich für den Oberen Muschelkalk in 2000 m Tiefe ein hydrostatischer Druck von 220 bar. Bezogen auf Süßwasser entspricht dies einem Überdruck von 200 m Wassersäule. Setzt man diesen Wert in Beziehung zum hydrostatischen Druck im Bereich des Salzgitter Höhenzuges, der maximal etwa 150 m über dem im Bereich der Grube herrschenden Druckpotential liegen kann, so wird verständlich, daß ein Grundwassereinstrom in die Wasserleiter der Trias am Salzgitter Höhenzug kein Aussüßen von Porenwässern in den zentralen tiefen Beckenbereichen bewirken konnte, und daß die lineare Verteilung der Salzgehalte auch nach der Herausbildung des derzeitigen orohydrographischen Systems während des Tertiärs erhalten blieb.

Zusammenfassend läßt sich somit feststellen, daß die lineare Zunahme der Salzgehalte zur Tiefe hin in der Grube Konrad dahingehend zu interpretieren ist, daß im Umfeld der Grube keine wesentliche Wasserbewegung stattfindet, sondern die vertikal gerichtete Diffusion gelöster Salze bestimmender Transportmechanismus ist.

### 2.3 Entstehung und Herkunft der Tiefenwässer

Die chemische Zusammensetzung und Genese der Konrad-Wässer sind in 2 Berichten erläutert und diskutiert worden (KLINGE 1988b, KLINGE 1989). Die wesentlichen Aussagen beider Berichte lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Verbunden mit dem linearen Anstieg der Salzgehalte zur Tiefe hin ist eine charakteristische, ebenfalls lineare Entwicklung in der chemischen Zusammensetzung aller Wässer einschließlich der Wässer des Hilssandstein und des "Cornbrash". Sie ist dadurch charakterisiert, daß mit zunehmendem Lösungsinhalt in steigendem Maße  $\text{Na}^+$  durch  $\text{Ca}^{++}$  und  $\text{Mg}^{++}$  sowie  $\text{K}^+$  ersetzt werden. Charakteristisch ist ferner eine salinitätsabhängige Veränderung der Anteile wichtiger Spurenelemente, die für die Beurteilung der Genese herangezogen werden.

Alle Wässer lassen sich somit einem gemeinsamen Entwicklungsprinzip zuordnen. Die Wasserinhaltsstoffe des Hilssandstein und des "Cornbrash" sind daher auch nicht grundsätzlich anderer Herkunft als die der Wässer des Korallenoolith.

Aus der linearen Korrelation der wichtigsten chemischen Parameter untereinander läßt sich mit hoher Wahrscheinlichkeit ableiten, daß die Konrad-Wässer Mischungen  $\text{NaCl}$ -gesättigter Lösungen und geringer mineralisierter, etwa halbgesättigter Lösungen darstellen.

Wichtigstes Kriterium zur Beurteilung der Genese von hochversalzten Formationswässern ist der Bromidgehalt bzw. das Äquivalentverhältnis  $\text{Br}/\text{Cl}$  dieser Wässer. Aus der Entwicklung des Äquivalentverhältnisses  $\text{Br}/\text{Cl}$  in Beziehung zum Salzgehalt der Konrad-Wässer läßt sich ableiten, daß die gesättigte Lösungskomponente aus evaporitischen Restlösungen im Stadium der  $\text{NaCl}$ -Ausfällung



hervorging und in ihrer chemischen Zusammensetzung nachträglich durch diagenetische Mineralumbildungen verändert wurde. Bei der zweiten Mischungskomponente handelt es sich um Wasser meteorischer Herkunft oder um Meerwasser, welches durch NaCl-Ablaugung aufgesalzen wurde (vgl. Abb. 3).

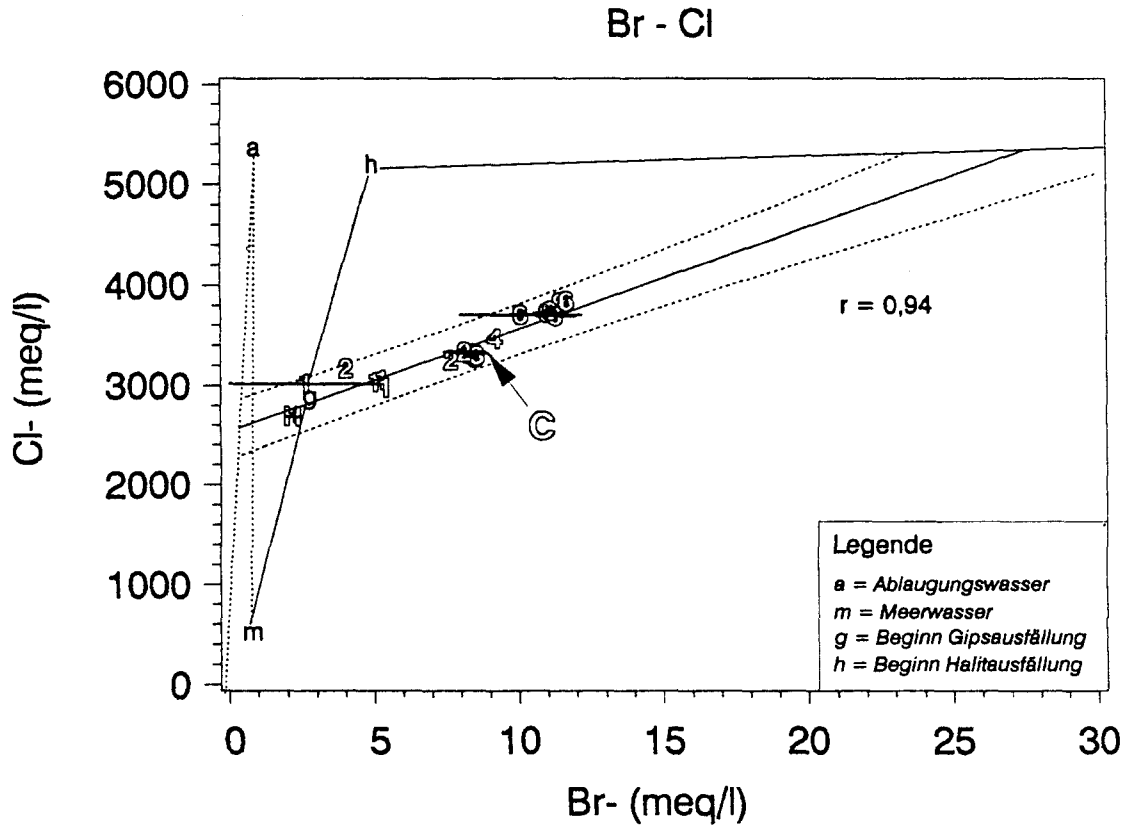


Abb. 3: Beziehung zwischen Bromid und Chlorid in den Konrad-Wässern

Die Darstellung zeigt neben den Datenpunkten der Konrad-Wässer die Entwicklung des Verhältnisses Br/Cl für die isotherme Eindunstung von Meerwasser. Der Datenpunkt 'm' entspricht der Ausgangszusammensetzung des Meerwassers. Mit zunehmender Eindunstung des Meerwassers erfolgt zunächst eine kontinuierliche Anreicherung von Bromid und Chlorid unter Erhaltung des Ausgangsverhältnisses Br/Cl. Mit Beginn der Steinsalzausfällung (Datenpunkt 'h') kommt es zur Fraktionierung der Bromidgehalte zwischen gefällttem Steinsalz und Restlösung, die

im Steinsalz im Vergleich zu Meerwasser zu einer Abreicherung am Bromid und in der verbleibenden Restlösung zu einem kontinuierlichen Anstieg des Verhältnisses Br/Cl führt. Das Äquivalentverhältnis Br/Cl typischer Ablaugungswässer von Steinsalzen liegt durchschnittlich um eine Größenordnung niedriger als im Meerwasser (Datenpunkt 'a'). Die Verbindungslinien zwischen den Punkten 'a' und 'm' bzw. zwischen dem Punkt 'a' und dem Koordinatenursprung stellen Mischungslinien zwischen einem gesättigten Ablaugungswasser und Meerwasser bzw. meteorischem Wasser dar.

Die Abbildung zeigt für die Konrad-Wässer durchgängig eine lineare Korrelation zwischen Bromid und Chlorid, wobei das Verhältnis Br/Cl der Wässer von einem im Vergleich zu Meerwasser deutlich erniedrigten Wert beim Hilssandstein-Wasser kontinuierlich bis auf einen etwa 3-fach höheren Wert bei den Korallenoolith-Wässern der 6. Sohle der Grube ansteigt. Die Regressionsgerade der Datenpunkte schneidet die Meerwasser-Verdunstungslinie im Abschnitt der Steinsalz-Ausfällung bei einem Bromidgehalt von 26 meq/l. Bezogen auf die Chlorid-Sättigungskonzentration von etwa 5300 meq/l ergibt sich hieraus ein 4-fach höheres Verhältnis Br/Cl als im Meerwasser. Der Schnittpunkt zwischen Ausgleichsgerade und Ordinate liegt bei etwa 2500 meq/l.

Die lineare Verteilung der Br/Cl-Verhältnisse wird dahingehend interpretiert, daß die Wasser Mischungen zwischen einer gesättigten, im Stadium der Halitausfällung befindlichen evaporitischen Restlösung und einem etwa halbgesättigten Ablaugungswasser mit stark erniedrigtem Verhältnis Br/Cl darstellen.

Die Parallelität zwischen der linearen Zunahme der Salzgehalte zur Tiefe und der charakteristischen linearen Veränderung in der chemischen Zusammensetzung der Wässer legt es nahe, Genese und Chemismus der Wässer mit der Diffusion von gelösten Salzen aus den tiefliegenden Teilen des Sedimentbeckens in Verbindung zu bringen. Die wahrscheinlichste Hypothese zur Genese der Wässer aus der Grube Konrad lautet daher wie folgt:

Bei den Wässern der drei im Grubenbereich aufgeschlossenen Wasserleiter handelt es sich um Mischungen von marinen Porenwässern mit konzentrierten Ablaugungswässern. Zusätzlich führte die Diffusion von gelösten Salzen konzentrierter evaporitischer Restlösungen aus tiefliegenden Sedimenten über geologische Zeiträume hinweg zur Ausbildung eines annähernd linearen Salinitätsgradienten. Hierdurch bedingt kam es in den aufgeschlossenen

Wasserleitern zu einer zur Tiefe hin zunehmenden Überprägung der chemischen Zusammensetzung, verbunden mit einem entsprechenden Anstieg der Salzgehalte.

Eine Bestätigung dafür, daß es sich bei den Konrad-Wässern um sehr alte fossile Wässer handelt, liefern Messungen der Edelgas-isotopen-Gehalte, die auf Wasseralter von mehreren zehner- bis hundert mio. Jahren hindeuten ( [REDACTED] 1989).

#### 2.4 Salz/Süßwasser-Modellrechnungen

Nach dem derzeitigen Stand der Wissenschaft und Technik sind hydraulische Modellrechnungen mit variablen Salzgehalten bzw. variabler Dichte nur für relativ grobe Strukturen machbar. Der Rechenaufwand ist immens hoch.

Die BGR führt gegenwärtig entsprechende Modellrechnungen im Rahmen eines F+E-Vorhabens durch [REDACTED] 1990). Die Rechnungen mit dem Rechencode SUTRA erfolgen in Anlehnung an die geologische Situation im Raum Konrad an einem etwa Süd-Nord verlaufenden Schnitt vom Salzgitter Höhenzug bis zur Allerniederung.

In einem ersten Schritt wurde zunächst ein sehr einfaches zweidimensionales Prinzipmodell behandelt, bei dem nur die wesentlichen Elemente des hydraulischen Systems nachgebildet wurden. In einem zweiten Schritt wurde der geologische Aufbau des Gebietes dann detaillierter nachgebildet. In den Modellen wird unterstellt, daß die Wässer an der Modellbasis in Kontakt mit Salzformationen stehen. Zu Vergleichszwecken wurden außerdem Süßwasserrechnungen durchgeführt, bei denen die aus dem Kontakt mit den Salzen folgende Salinität der Porenwässer unberücksichtigt bleibt.

Die Rechnungen mit diesen 2D-Modellschnitten lieferten bisher folgende Ergebnisse:

- in Salz/Süßwassermodellen entstehen gänzlich andere Grundwasserströmungs-Muster als in Süßwassermodellen
- in den modellierten Salz/Süßwassersystemen bewegt sich das Tiefengrundwasser langsamer, zumeist wesentlich langsamer als in den entsprechenden Süßwassermodellen
- im größten Teil des Modellgebietes stellt sich bei den Salz/Süßwassermodellen eine nahezu lineare vertikale Dichteverteilung ein. Daraus läßt sich ableiten, daß dort Diffusion des gelösten Salzes zwischen Salinar und Geländeoberfläche der dominierende Transportmechanismus ist. Überwiegend konvektiver Grundwassertransport ist auf das Grundwasserneubildungsgebiet im Bereich der topographischen Hochlage des Salzgitter Höhenzuges beschränkt. Dagegen wird im entsprechenden Süßwassermodell das gesamte betrachtete Gebiet vom konvektiven Grundwasserstrom beherrscht.

Entsprechende dreidimensionale Salz/Süßwasser-Modellrechnungen mit sehr einfachen Strukturen, die auch den Einfluß von Salzstöcken berücksichtigen, befinden sich in Bearbeitung.

Die bisherigen Ergebnisse der Forschungsarbeiten zeigen also eine gute Übereinstimmung mit den gemessenen Daten aus dem Bereich der Grube Konrad. Es zeichnet sich somit die Tendenz ab, daß die chemischen Inhaltsstoffe des Porenwassers - anders als bei den bisherigen Süßwasser-Modellrechnungen - als Kontrollgrößen für die Süß/Salzwassermodelle herangezogen werden können.

### 3. Modellrechnungen zur Langzeitsicherheit

"Gemäß der gemeinsamen Stellungnahme der Reaktor-Sicherheitskommission und der Strahlenschutzkommission muß für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in Bergwerken erreicht werden, daß Radionuklide, die als Folge nicht ausschließbarer Transportvorgänge aus einem verschlossenen Endlager in die Biosphäre gelangen können, nicht zu Individualdosen ... führen, die die Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition überschreiten". Der Nachweis der Einhaltung dieses Schutzzieles muß auf der Basis einer standortspezifischen Sicherheitsanalyse geführt werden (PTB 1989, S. 3.9-5).

#### 3.1 Modellrechnungen des Antragstellers

Für den Standort Konrad wurde diese Sicherheitsanalyse anhand von dreidimensionalen Modellrechnungen zur großräumigen Grundwasserbewegung durchgeführt, durch welche potentielle Ausbreitungspfade von Radionukliden vom Endlager bis zur Biosphäre definiert wurden. Aufbauend auf diesen Modellergebnissen erfolgten dann eindimensionale Rechnungen zur Schadstoffausbreitung für diese Ausbreitungspfade.

Die numerische Modellierung der Grundwasserströmung erfolgte zunächst mit dem Programmsystem SWIFT. Grundlage für dieses "Schichtenmodell" war ein von der BGR zusammengestellter Satz von Tiefenlinienplänen, in denen räumliche Lage und Verbreitung aller hydrogeologisch bedeutsamen Schichten dargestellt wurden ( [REDACTED] 1986).

Die Tiefenlinienpläne wurden auf der Basis von seismischen Messungen erstellt, die für das Projekt Konrad im Jahre 1984 in der Umgebung der Schachtanlage durchgeführt wurden ([REDACTED] 1985).

Für die nach Norden und Süden angrenzenden Gebiete griff man auf bereits vorliegende Auswertungen von reflexionsseismischen Messungen der Erdölindustrie in dem von der BGR erstellten Geotektonischen Atlas von NW-Deutschland zurück.

Als undurchlässige Modellbasis wurden die Tonsteine und das Steinsalz des Mittleren Muschelkalk angesehen. Dabei wurde unterstellt, daß die flächenhaft verbreiteten Steinsalze des Mittleren Muschelkalk einen zusätzlichen Anstrom aus den tieferliegenden Wasserleitern wirkungsvoll unterbinden ( [REDACTED] 1988). Aus den Modellrechnungen ergaben sich abhängig vom angesetzten Durchlässigkeitsbeiwert für die Tonsteine der Unterkreide zwei unterschiedliche Ausbreitungspfade vom Endlager zur Biosphäre mit einer Aufwärtsbewegung des Wassers durch die Unterkreide-Tonsteine bzw. einer Ausbreitung durch das Oxford nach Norden. Die errechneten Laufzeiten lagen bei beiden Rechenfällen in der Größenordnung von 300.000 bis 400.000 Jahren.

Von Seiten des Gutachters NLFB wurden Zweifel an der Konservativität dieser Ergebnisse geäußert. Gegenstand von Diskussionen zwischen Antragsteller und Genehmigungsbehörde war vor allem die Annahme der BGR, daß Verwerfungen innerhalb von Tonsteinen keine erhöhten Durchlässigkeiten aufweisen. Deshalb wurde gefordert, anhand ergänzender Modellvarianten die Auswirkungen möglicherweise vorhandener erhöhter Durchlässigkeiten entlang von Störungen zu untersuchen. Vom Antragsteller wurden daraufhin Zonen im Bereich von tektonischen Verwerfungen und entlang von Salzstrukturen definiert, denen im Vergleich zum umgebenden Gestein erhöhte Durchlässigkeiten zugewiesen wurden ( [REDACTED] ). Rechnungen mit dem Rechencode FEM 301 ergaben für dieses "Störzonenmodell" im Vergleich zum "Schichtenmodell" durchgängig längere Wasserlaufzeiten.

Da die SWIFT-Modellrechnungen insgesamt die kürzeren Laufzeiten für die wesentlichen Ausbreitungswege ergaben, bildeten diese

Modellrechnungen die Grundlage für die Nuklid-Ausbreitungsrechnungen. Die Rechnungen ergaben, daß für beide potentiellen Ausbreitungspfade das erforderliche Schutzziel eingehalten werden kann.

Bei allen Simulationsrechnungen wurde von Süßwasserverhältnissen ausgegangen. Im Plan Konrad (PTB 1989) wird dazu festgestellt:

"Bei den Simulationsrechnungen wird von Süßwasserverhältnissen ausgegangen, obwohl die Existenz von Wasser höherer Salinität und damit höherer Dichte im Untersuchungsgebiet bekannt ist.(...) Bei Berücksichtigung der Salinität sind Veränderungen zu kleineren Laufzeiten nicht zu erwarten, dagegen erscheinen gravierende Laufzeitverzögerungen durch den Einfluß saliner Wässer möglich".

Die Konservativität der errechneten Dosisbelastungen in der Biosphäre läßt sich anhand folgender Plausibilitätsbetrachtungen untermauern:

Der im Bereich der Grube Konrad bestehende Salinitätsgradient ist Beleg dafür, daß im Nahbereich der Grube keine nennenswerte Tiefenwasserkonvektion existiert, sondern Stofftransport vorherrschend durch im Vergleich zu konvektiven Transportvorgängen wesentlich langsameren diffusiven Transport erfolgt.

Dieser diffusive Massenfluß ist nach dem 1. Fick'schen Gesetz direkt proportional zum bestehenden Konzentrationsgradienten:

$$j = - D \cdot dc/dx \quad (1)$$

$j$  = Massenfluß ( $\text{kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )

$D$  = Diffusionskoeffizient in freiem Wasser ( $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ )

$dc/dx$  = Konzentrationsgradient ( $\text{kgm}^{-3}\text{m}^{-1}$ )

Zur Beschreibung der Diffusion in porösen Medien ist der für die freie Diffusion in Wasser gültige Diffusionskoeffizient 'D' durch einen die Porosität und Tortuosität des Gesteins berücksichtigenden effektiven Diffusionskoeffizienten ' $D_{\text{eff}}$ ' zu ersetzen:

$$D_{eff} = D \cdot P \cdot T \quad (2)$$

P = Porosität (dimensionslos)

T = Tortuosität (dimensionslos).

' $D_{eff}$ ' ist für konsolidierte Tonsteine mit  $10^{-10}$  bis  $10^{-11} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  anzusetzen (FREEZE & CHERRY 1979) .

Unter der Annahme, daß die Sedimente über den Salzen des Mittleren Muschelkalk gesättigte Porenwässer mit einer Konzentration von 300 g/l gelöster Salze enthalten, läßt sich der vertikal gerichtete Stofftransport im Bereich der Grube Konrad überschlägig wie folgt abschätzen:

$$j = D_{eff} \cdot dc/dx \quad (3)$$

Bei Ansatz eines effektiven Diffusionkoeffizienten von  $10^{-10} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  ergibt sich mit

$$D_{eff} = 1 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$$

$$dc/dx = 300 \text{ kgm}^{-3} / 2000 \text{ m}$$

ein Massenfluß von

$$j = 1 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2\text{s}^{-1} \times 300/2000 \text{ kgm}^{-4}$$

$$j = 1,5 \cdot 10^{-11} \text{ kgm}^{-2}\text{s}^{-1},$$

was einem spezifischen Massenfluß von  $4,7 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^{-2}\text{a}^{-1}$  entspricht. Setzt man diesen Wert in Beziehung zu einer Grundwasserneubildung in der Größenordnung von 100 mm/a ( $0,1 \text{ m}^3\text{m}^{-2}\text{a}^{-1}$ ), so resultiert hieraus ein Salzeintrag in den oberflächennahen Grundwasserleiter von 5 mg/l. Hierbei ist vorausgesetzt, daß es im oberflächennahen Grundwasserleiter zu einer vollständigen Durchmischung zwischen Grundwasser und den eingetragenen Salzen kommt. Unter der vereinfachenden Annahme, daß es sich bei den gelösten Salzen um reines NaCl handelt, entspricht dies einem Chloridgehalt von 3 mg/l.



Im Vergleich dazu ergeben sich bei der Rechenvariante 1 ( $k_f = 10^{-10}$  m/s für die Unterkreide) mit einer Ausbreitung durch die Unterkreide Darcygeschwindigkeiten von bis zu  $10^{-4}$  m/a (PTB 1989). Bei Ansatz eines mittleren Salzgehaltes der Wässer aus der Grube Konrad von 200 g/l entspricht dies einem Transport gelöster Salze von  $2 \cdot 10^{-2}$   $\text{kgm}^{-2}\text{a}^{-1}$ , also dem 40-fachen des oben ermittelten Wertes. Unter der Annahme einer Grundwasserneubildung von ebenfalls 100 mm/a erhält man einen Salzeintrag ins oberflächennahe Grundwasser von 200 mg/l bzw. einem Chlorideintrag von 120 mg/l. Daß dieser Wert unrealistisch hoch ist, zeigt sich allein daran, daß anthropogen unbeeinflusste Grundwässer Chloridgehalte von weniger als 30 mg/l aufweisen (MATTHESS 1973). Hierbei ist noch zu berücksichtigen, daß ein wesentlicher zusätzlicher Chlorideintrag über Niederschläge und künstliche Chlorid-Deposition erfolgt.

Insgesamt zeigen diese überschlägigen Abschätzungen, daß die Modellrechnungen des Antragstellers durch die Nichtberücksichtigung der Dichteunterschiede in den Tiefenwässern den tatsächlichen, im wesentlichen durch vertikal gerichtete Diffusion vor sich gehenden Stofftransport im Bereich des Endlagers um 1 bis 2 Größenordnungen überschätzen.

Für die Nuklid-Ausbreitungsrechnungen wird beim Übertritt kontaminierter Tiefenwässer in den oberflächennahen Grundwasserleiter eine Verdünnung um den Faktor 10 unterstellt. Anschließend werden die so ermittelten Konzentrationswerte für Radionuklide in Strahlenexpositionen umgerechnet. Dabei wird unterstellt, daß durch Verwendung dieses Wassers als Trinkwasser oder dessen Gebrauch zu Bewässerungszwecken ein Transfer der Radionuklide bis hin zum Menschen ermöglicht wird.

Die angenommene Verdünnung des Tiefenwassers um den Faktor 10 mit oberflächennahem, gering mineralisiertem Grundwasser führt zu einem Salzgehalt von etwa 20 g/l, bzw. einem entsprechenden Chloridgehalt von 12 g/l. Vergewärtigt man sich, daß Bewässer-

rungrwasser mit Salzgehalten von 2 g/l bei wenig salztoleranten Pflanzen bereits zu Schäden führt, und der Grenzwert für Chlorid in Trinkwasser bei 200 mg/l liegt, so wird deutlich, daß der angesetzte Verdünnungsfaktor 10 eine weitere stark konservative Annahme darstellt.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die Modellrechnungen des Antragstellers wegen der Nichtberücksichtigung der Salzgehalte in den Tiefenwässern zu einer starken Überschätzung eines möglichen Schadstoffaustrages aus dem Endlager führen. Die im Plan KONRAD getroffenen Aussagen zur Langzeitsicherheit des Endlagers Konrad liegen damit mit Sicherheit auf der konservativen Seite.

### 3.2 Modellrechnungen der Genehmigungsbehörde

Im Rahmen der Begutachtung der Planfeststellungsunterlagen für das geplante Endlager Konrad läßt die Genehmigungsbehörde vergleichende Modellrechnungen durch die Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) durchführen. Die Modellrechnungen mit dem Rechencode NAMMU basieren auf geologischen und hydrogeologischen Vorgaben des NLFb, die im Februar 1989 als Bericht vorgelegt wurden ( [REDACTED] 1989a).

Erste Rechenergebnisse wurden von der GRS anlässlich einer Sitzung am 29.11.1989 beim TÜV Hannover vorgestellt. Danach führen sowohl Parametervorgaben für das "Schichtenmodell" als auch die Annahme von Störzonen zu keinen wesentlich anderen als den im Plan "Konrad" genannten Laufzeiten.

Wesentlich verkürzte Laufzeiten ergeben sich dagegen bei der Annahme eines Loches im Salinar des Mittleren Muschelkalk im Gebiet von Vechelde und der Vorgabe eines im Vergleich zum überlagernden Oberen Muschelkalk um 40 m erhöhten Potentials

innerhalb dieses Fensters. In Verbindung mit der Annahme erhöhter Durchlässigkeiten in Störzonen führen diese Vorgaben des NLfB zu Laufzeiten von etwa 32.000 Jahren. Aufgrund von Problemen bei der Deutung der Ergebnisse des Particle-Tracking-Programmes scheinen nach Angaben der GRS sogar kürzere Laufzeiten im Bereich von 20.000 Jahren nicht ausgeschlossen zu sein (TÜV HANNOVER 1989).

Nachfolgend wird zu den Modellvorgaben des NLfB nochmals aus der Sicht des Antragstellers Stellung genommen.

### 3.2.1 Geologische Grundlagen

Die den Modellrechnungen des Antragstellers zugrunde liegenden Datensätze wurden durch die BGR auf der Basis aller im Jahre 1984 verfügbarer Daten erstellt.

In den folgenden Jahren wurden weitere neuere, überwiegend im nördlichen Modellbereich gelegene seismische Profile der Erdölindustrie verfügbar. NLfB forderte daraufhin ergänzende Auswertungen der vorliegenden Daten. In Fachgesprächen zwischen NLfB und BGR im März 1988 wurde festgelegt, daß die Ergänzungsarbeiten der BGR sich auf die Schichtenfolge von Malm, Unter- und Oberkreide und deren Darstellung in Tiefenlinien- und Mächtigkeitsplänen konzentrierten, während NLfB begleitend dazu die tieferen Schichten bearbeitete.

Für die ergänzenden Arbeiten standen als zusätzliche Unterlagen ein neues seismisches E-W-Profil aus der engeren Umgebung der Schachanlage sowie weitere 22 Profile aus den Jahren 1982 bis 1986 zur Verfügung. Die sich aufgrund dieser Auswertungen ergebenden Änderungen wurden ausführlich in [REDACTED] (1989) dargestellt. Die Änderungen betreffen im wesentlichen den Bereich des Gifhorn-Calberlah-Grabens zwischen den Salzstöcken Gifhorn und Calberlah,

die Störungszone Bechtsbüttel-Calberlah und die Aufschiebungszone von Rühme-Vordorf im Norden des Modellgebietes, deren komplexe Strukturen durch die zusätzlichen seismischen Profile im Vergleich zu früheren Auswertungen detaillierter erfaßt werden konnte.

Der entsprechende Fachbericht der BGR wurde der Gutachterbehörde im Januar 1989 übergeben ([REDACTED]). Dem NLfB wurden die Entwürfe der Tiefenlinienpläne bis zur Basis des Malm als Grundlage für die Konstruktion der tieferen Schichten vorab zur Verfügung gestellt. Diese Arbeiten beider Fachbehörden dienten als Grundlage für die begleitenden Modellrechnungen der GRS.

Durch den veränderten Modellaufbau im Bereich dieser Störungszone ergeben sich keine wesentlichen Auswirkungen auf die Grundwasserhydraulik des Gebietes.

Weitere Unterschiede zwischen den geologischen Modellvorgaben des NLfB und denen der BGR bestehen in den folgenden Punkten:

- a) In der Berücksichtigung zusätzlicher hydrogeologischer Einheiten.
- b) In der Verbreitung des Salzlagers im Mittleren Muschelkalk.

zu a) Im Vergleich zu den Modellvorgaben der BGR wurde vom NLfB zunächst eine wesentlich detailliertere Gliederung der Schichteinheiten vorgenommen. In dem im August 1988 herausgegebenen Fachbericht unterschied man folgende zusätzlichen hydrogeologischen Einheiten ([REDACTED] 1988):

- Transgressionshorizont der Unterkreide,
- Valangin und Wealden,
- Dogger- $\beta$ -Sandstein und
- Schilfsandstein.

In nachfolgenden aktualisierten Fassungen ([REDACTED] 1989a, [REDACTED] 1989b) der Modellvorgaben wurden der

Transgressionshorizont der Unterkreide und der Schilfsandstein nicht mehr als gesonderte Einheiten ausgewiesen. Im Vergleich zu den Modellrechnungen des Antragstellers werden somit noch weitere 2 hydrogeologische Einheiten modelliert: Der Dogger- $\beta$ -Sandstein weist, ähnlich dem Oxford und dem "Cornbrash"-Sandstein eine zungenförmige, sich in Nord-Süd-Richtung erstreckende Verbreitung auf. Gründe dafür, daß dieser Horizont in den Modellen des Antragstellers nicht getrennt berücksichtigt wurde, waren im wesentlichen modelltechnischer Natur. Die begrenzte zur Verfügung stehende Rechnerkapazität machte es notwendig, einzelne Schichteinheiten zusammenzufassen. Der Dogger- $\beta$ -Sandstein wurde daher wegen seiner geringen Mächtigkeit den Dogger-Tonsteinen zugeordnet und der gesamten Einheit eine im Vergleich zu reinen Tonsteinformationen um eine Größenordnung erhöhte Durchlässigkeit zugeordnet.

Der Vergleich der Ergebnisse des Antragstellers mit den Modellrechnungen der GRS zeigen, daß die getrennte Berücksichtigung des Dogger- $\beta$ -Sandstein keine wesentlichen Auswirkung auf die Modellhydraulik hat.

Wealden und Valangin wurden in den Modellvorgaben der BGR nicht als gesonderte hydrogeologische Einheiten berücksichtigt. Im Norden des Modellgebietes wurde das in sandig-toniger Fazies ausgebildete Wealden und Valangin dem Kimmeridge zugeordnet. NLfB weist diesen Horizont gesondert aus und ordnet ihm eine im Vergleich zum Modell des Antragstellers um eine Größenordnung erhöhte Durchlässigkeit zu. Im südlichen Teil des Gebietes kommt Wealden in einem eng begrenzten Bereich am östlichen Rand des Salzstocks Broi-stedt vor. Von BGR wurde das Wealden der tonigen Unterkreide zugeordnet, wahren NLfB diese Einheit gesondert ausweist, und ihr die Durchlässigkeit eines Geringleiters zuordnet.

Valangin und Wealden werden somit vom NLfB im Vergleich zu

den Vorgaben der BGR als besser wasserleitend eingestuft. Da aus dem Untersuchungsraum Konrad keine gemessenen hydraulischen Kennwerte aus diesen Gesteinseinheiten vorliegen, erscheinen aus der Sicht der BGR beide Vorgehensweisen plausibel.

Die veränderten Vorgaben des NLfB führen zu abweichenden Ausbreitungswegen in Richtung Norden mit einem bevorzugten Austritt der Wasserteilchen am nordwestlichen Modellrand, jedoch nicht zu wesentlich veränderten Laufzeiten.

zu b) BGR ging in den Vorgaben zu den Modellrechnungen von einer lückenlosen, flächenhaften Verbreitung des Salinars im Mittleren Muschelkalk aus. Es wurde unterstellt, daß dadurch ein möglicher Einstrom aus unterlagernden Wasserleitern der Trias wirkungsvoll unterbunden wird. Der Modellboden wurde daher an die Basis des Oberen Muschelkalk gelegt, und die darunter folgenden Wasserleiter des Unteren Muschelkalk und des Buntsandstein nicht in die Modellbetrachtungen mit einbezogen.

In den hydrogeologischen Modellvorgaben des NLfB ( [REDACTED] 1989b) wurde demgegenüber davon ausgegangen, daß das Muschelkalksalinar in einem etwa 13 km langen Streifen längs des Salzstocks Vechelde nördlich und südlich der Bohrung Vechelde 2 fehlt. Die Annahme dieses relativ eng begrenzten Fensters in Verbindung mit der Vorgabe eines erhöhten hydraulischen Potentials im Bereich dieses Fensters und erhöhter Durchlässigkeiten in Störzonenbereichen führte bei den Modellrechnungen der GRS zu den vorgenannten sehr kurzen Wasserlaufzeiten vom Endlager zur Biosphäre.

In einer von NLfB überarbeiteten Fassung des Tiefenlinienplanes Basis Oberer Muschelkalk mit Stand vom 17.11.1989 fehlt der Obere Muschelkalk und damit auch das Salinar des

Mittleren Muschelkalk durchgehend in einem 0,5 bis 3 km breiten Streifen entlang der Salzstockkette Broistedt - Vechelde - Rolfsbüttel-Wendeburg und nördlich anschließend bis zum Salzstock Gifhorn sowie im Bereich des Gifhorn-Calberlah-Grabens.

Die von der BGR für das hydrogeologische Modell unterstellte vollständige Verbreitung des Salinars im Mittleren Muschelkalk gründete sich auf die Erfahrungen aus Erdgasbohrungen in der weiteren Umgebung, wonach diese Bohrungen, abgesehen von strukturellen Hochlagen, stets das Salinar angetroffen hatten.

Bei den 1988 durchgeführten ergänzenden seismischen Auswertungen, die sich auf die neueren reflexionsseismischen Profile konzentrierten, wurde u.a. der Frage nachgegangen, wo es Indizien für Lücken in der Verbreitung des Salzes des Mittleren Muschelkalk gibt ( [redacted] 1989). Das vorliegende Material gestattet im allgemeinen keine eindeutigen Aussagen, weil in den Bohrungen kaum erkennbar ist, ob es sich um das primäre Fehlen einer Schicht, eine Schichtlücke infolge Störung oder um das Fehlen des Salzes infolge von Subrosion handelt. Im Falle des Ausfalls an einer Störung wäre das Salzlager möglicherweise vorhanden, obwohl es in der Bohrung nicht angetroffen würde. Alle Bohrprofile, in denen das Muschelkalksalz fehlt, wurden von den Erstellern der Schichtverzeichnisse so gedeutet, daß der Ausfall durch Störungen bedingt sei. Auch die Interpretation qualitativ hochwertiger moderner seismischer Profile bereitet erhebliche Schwierigkeiten, weil im Bereich von Salzstockflanken und in stärker gestörten Bereichen die Qualität sehr abfällt. Dennoch waren Hinweise auf das Ausbeißern des Reflektors des Oberen Muschelkalks zu erfassen und daraus konnte auf das Fehlen des Salzes im Mittleren Muschelkalk geschlossen werden, vgl. auch Abb. 1 in [redacted] (1989). Durch Kompilation aller vorhandenen Indizien konnte einigermaßen

wahrscheinlich gemacht werden, daß ähnliche Verhältnisse an allen Rändern der Salzstockkette Broistedt - Vechelde - Rolfsbüttel-Wendeburg und Gifhorn vorliegen.

Zur Erfüllung des Auftrags des BfS vom 11.12.1989 (vgl. S. 1) wurden noch einmal alle seismischen Profile gesichtet, um auch für weitere Strukturen im Modellgebiet Aussagen über Indizien für das Fehlen des Muschelkalksalzes zu machen. Alle Indizien wurden in die Strukturkarte des Gebietes eingetragen, die als Abb. 4 diesem Bericht beigelegt ist.

Am wenigsten unsicher ist die Darstellung entlang der Strukturkette Broistedt - Gifhorn.

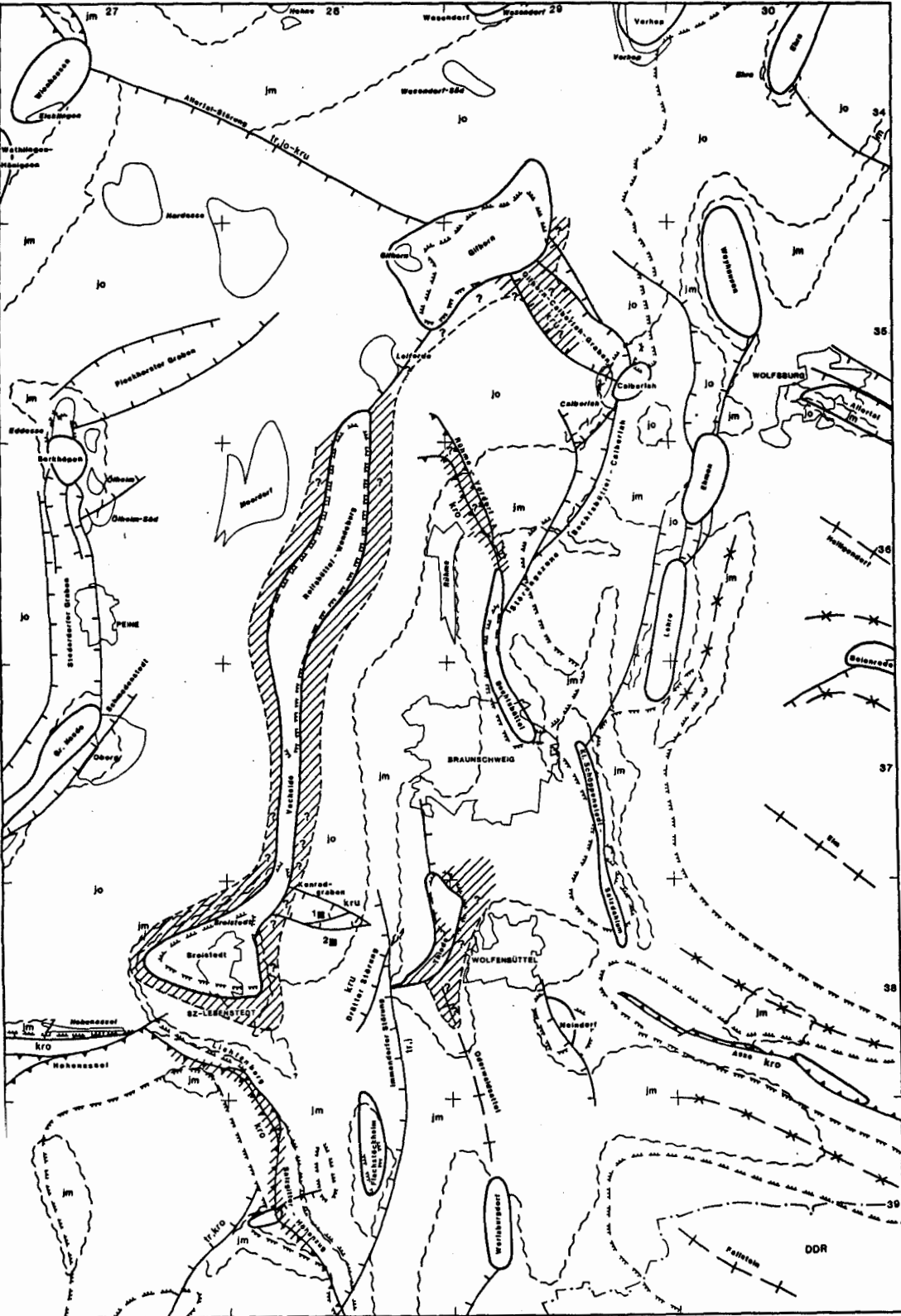
Die Verhältnisse im Gifhorn-Calberlah-Graben sind, was die triadischen Schichten angeht, sehr unklar. Modernes Material steht zur Auswertung nicht zur Verfügung.











Unter der Aufschiebungszone Rühme-Vordorf kann das Muschelkalksalz in einem schmalen Gebietsstreifen fehlen. Jedenfalls wird aus den Bohrungen Vordorf 2 und 3 und Bechtsbüttel 3 kein Salz berichtet. Auch gibt es einige ganz schwache seismische Hinweise auf eine Reduktion der Schichten.

Auf einem Sporn des Salzstocks Thiede traf die Bohrung Fümmele 1 auf Mittleren Muschelkalk ohne Salz. Auch die Bohrung Thiede 16 hatte im Muschelkalk kein Salz. Inwieweit das Muschelkalksalz im östlichen Randgebiet der Struktur Thiede fehlt, ist noch unklar.

Vom Salzgitter Höhenzug ist seit langem bekannt, daß das Muschelkalksalz subrodiert ist. Hinzu kommen noch, besonders im Süden des Strukturzuges, heute tiefliegende Bereiche, in denen vor der Transgression der Unterkreide eine starke Abtragung stattgefunden hatte, so daß hier stellenweise alle





-  Bereiche mit Hinweisen auf das Fehlen des Salzes des Mittleren Muschelkalk im Modellgebiet
-  Salzstock
-  Achse von Salzkissen
-  Achse von Salzstockrandsenken
-  Abseilung mit Angabe der Hauptbewegungszeit
-  Aufseilung mit Angabe der Hauptbewegungszeit
-  Erdölfield
-  Begrenzung der Verbreitung der tieferen Unterkreide
-  Malmverbreitung bei abgedeckter Unterkreide
-  Doggerverbreitung bei abgedeckter Unterkreide

0 10km

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE

**SCHACHTANLAGE KONRAD**  
STRUKTURÜBERSICHT

BEARBEITET: [Name] STAND: Dez. 1980  
GEGENSTAND: [Name] ZEICHNER: [Name]

Schichten bis zum Unteren Muschelkalk fehlen.

Zusammenfassend ist somit festzustellen, daß zwischen NLFb und BGR Übereinstimmung darin besteht, daß im Modellgebiet Konrad das Salzlager des Mittleren Muschelkalk an Rändern von Salzstöcken teilweise fehlt. Unterschiedliche Auffassungen bestehen lediglich hinsichtlich der genauen Begrenzung dieser Bereiche sowie hinsichtlich einiger sehr unsicherer Flächen.

### 3.2.2 Hydraulische Parameter

Die Tabellen 1 und 2 enthalten eine Gegenüberstellung der jeweiligen Modelleingabedaten für den Durchlässigkeitsbeiwert und die effektiven Gebirgsporositäten. Der Vergleich zeigt, daß - bezogen auf die Bandbreite möglicher Werte - vom NLFb durchgängig höhere Durchlässigkeiten bzw. kleinere Porositäten vorgegeben wurden. Durch die Vorgabe geringer Porositäten bzw. hoher Durchlässigkeiten sollten relativ geringe Laufzeiten erzwungen werden, um konservative Aussagen zu möglichen Laufzeiten vom Endlager zur Biosphäre treffen zu können. Die vorgegebenen Parameter liegen durchweg innerhalb der Bandbreite möglicher Werte. Aus der Sicht der BGR bestehen daher keine wesentlichen Einwände gegen dieses Vorgehen.

Hydrogeologische Einheit	Bandbreite der $k_f$ -Werte (m/s)		Modell-Eingabewert (m/s)	
	NLFB	BGR	NLFB	BGR
Quartär	$10^{-6}$ - $10^{-3}$	$10^{-7}$ - $10^{-3}$	$10^{-5}$	$10^{-5}$
Tertiär	$10^{-7}$ - $10^{-4}$	$10^{-7}$ - $10^{-3}$	$10^{-5}$	$10^{-7}$
Emscher-Mergel	$10^{-9}$ - $10^{-7}$	$10^{-9}$ - $10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-8}$
Plänerkalke (einschl. Flammenmergel)	$10^{-10}$ - $10^{-5}$	$10^{-7}$ - $10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-7}$	S: $10^{-7}$ N: $10^{-6}$
Alb (tonig)	$10^{-13}$ - $10^{-10}$	$10^{-13}$ - $10^{-11}$	$10^{-11}$	$10^{-12}$
Hilssandstein	$10^{-6}$ - $10^{-5}$	$10^{-5}$	$10^{-5}$	$10^{-5}$
Tiefere Unterkreide (tonig)	$10^{-12}$ - $10^{-9}$	$10^{-12}$ - $10^{-10}$	$10^{-10}$	$10^{-11}$
Valangin (sandig) und Wealden	$10^{-9}$ - $10^{-5}$	/	S: $5 \cdot 10^{-8}$ N: $10^{-7}$	/
Kimmeridge	$10^{-10}$ - $10^{-7}$	$10^{-9}$ - $10^{-7}$	$10^{-8}$	$5 \cdot 10^{-9}$
Oxford	$10^{-10}$ - $10^{-7}$	$10^{-12}$ - $10^{-4}$	$10^{-8}$	$10^{-8}$
Dogger-Tonsteine	$10^{-12}$ - $10^{-9}$	$10^{-12}$ - $10^{-10}$	$10^{-10}$	$10^{-10}/10^{-12}$
"Cornbrash"-Sandstein	$10^{-10}$ - $10^{-6}$	$10^{-11}$ - $10^{-5}$	$10^{-7}$	S: $10^{-7}$ N: $10^{-6}$
Dogger- $\beta$ -Sandstein	$10^{-9}$ - $10^{-5}$	/	$10^{-6}$	/
Keuper-Tonsteine	$10^{-11}$ - $10^{-8}$	$10^{-12}$ - $10^{-10}$	$5 \cdot 10^{-10}$	$10^{-10}/10^{-12}$
Rät-Sandstein (mit Hettangium-Sandsteinen)	$10^{-9}$ - $10^{-5}$	$10^{-7}$ - $10^{-6}$	$10^{-6}/10^{-9}$	$10^{-7}$
Oberer Muschelkalk	$10^{-8}$ - $10^{-5}$	$10^{-8}$ - $10^{-6}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$

Tab. 1: Vergleich der Modelleingabedaten für den Durchlässigkeitsbeiwert

Hydrogeologische Einheit	Bandbreite der Effektivporositäten (%)		Modell-Eingabewert (%)	
	NLfB	BGR	NLfB	BGR
Quartär	10 - 40	15 - 40	20/-	25
Tertiär	10 - 30	15 - 40	20/-	25
Emscher-Mergel	2 - 15	15 - 30	5/-	20
Plänerkalke (einschl. Flammenmergel)	5 - 20	5 - 21	10/15 <sup>1)</sup>	5
Alb (tonig)	2 - 15	8 - 30	5/7,5	10
Hilssandstein	10 - 25	25 - 35	15/-	25
Tiefere Unterkreide (tonig)	2 - 15	8 - 30	5/7,5	10
Valangin (sandig) und Wealden	5 - 20	/	7,5/10	/
Kimmeridge	0,1 - 20	2 - 18	1/2	10
Oxford	0,1 - 20	2 - 27	1/2	1
Dogger-Tonsteine	0,5 - 15	3 - 22	2/3	10
"Cornbrash"-Sandstein	0,1 - 20	5 - 25	3/4,5	5
Dogger-β-Sandstein	5 - 25	/	10/-	/
Keuper-Tonsteine	1 - 15	3 - 15	5/7,5	10
Rät-Sandstein (mit Hettangium-Sandsteinen)	5 - 25	5 - 20	10/-	20
Oberer Muschelkalk	0,1 - 20	2 - 20	5/7,5	2

1) zweiter Eingabewert gilt für den Bereich von Störungszonen

Tab. 2: Vergleich der Modelleingabedaten für die effektive Gebirgsporosität

#### 4. Schlußfolgerungen

Aus der Sicht der BGR stellt sich die gegenwärtige Situation im Planfeststellungsverfahren folgendermaßen dar:

Die in der Grube Konrad vorhandene lineare Salinitäts- und Dichteverteilung in den Porenwässern ist Beleg dafür, daß im Umfeld des geplanten Endlagers keine nennenswerte Grundwasserbewegung stattfindet. Stattdessen stellt dort die Diffusion gelösten Salzes zwischen gesättigten Salzlösungen im Untergrund und der Oberfläche den dominierenden, mit sehr kleinen Transportraten ablaufenden Transportmechanismus dar. Gelöste Schadstoffe aus dem Endlager würden daher ebenfalls vor allem dem diffusiven Transport unterliegen.

Grund für die weitestgehend fehlende Grundwasserbewegung sind im Untergrund vorhandene Salzablagerungen, die in der geologischen Vergangenheit zu einer Aufsatzung der Porenwässer führten. Die dadurch bedingte, im Vergleich zu Süßwasser erhöhte Dichte bewirkt, daß das erhöhte Süßwasserpotential im Salzgitter Höhenzug als Antriebsmotor für tiefreichende Grundwasserbewegungen nicht wirksam werden kann.

Salz/Süßwassermodellrechnungen, die im Rahmen von F+E-Arbeiten gegenwärtig in der BGR an vereinfachten zweidimensionalen Schnitten durch den Untersuchungsraum Konrad durchgeführt werden, stützen diese Aussagen.

Der Nachweis der Langzeitsicherheit des Endlagers Konrad wurde vom Antragsteller mit Hilfe hydraulischer Modellrechnungen geführt. Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erfolgen diese Berechnungen mit Modellcodes, die überall die gleiche Wasserdichte voraussetzen. Solche Modellrechnungen sind insofern zum Nachweis der Langzeitsicherheit des Endlagers verwendbar, als sicher ist, daß die errechneten Laufzeiten bei Berücksichtigung der in der

Natur vorhandenen variablen Wasserdichte größer wären, und dieser größere Wert auch mit den Naturdaten besser übereinstimmt als die sogenannten Süßwasserlaufzeiten.

In den Grubenwässern liegen Salzkonzentrationen vor, die etwa halbkonzentriert sind, aber nach der Tiefe gleichmäßig zunehmen. Die Extrapolation führt in einer Tiefe von etwa 2000 m zu einer gesättigten Lösung. In den Modellen des Antragstellers wurde die Modellbasis in diese Tiefe an die Oberkante des Salzlagers des Mittleren Muschelkalkes gelegt.

Die von der Genehmigungsbehörde nach den NLFB-Vorgaben durchgeführten Modellrechnungen ergeben in den meisten Rechenläufen Laufzeiten, die den Ergebnissen des Antragstellers nahekommen. Die geologischen Vorgaben dieser Rechnungen liegen im Rahmen der Interpretationsmöglichkeiten und sind unstrittig. Dies gilt auch für die gewählten hydraulischen Parameter und die vorgegebenen Randbedingungen an den Modellrändern und an der Oberfläche.

Die Variante, die sehr kurze Laufzeiten erbrachte, ist diejenige mit dem Antrieb aus den sehr tiefen Schichten unterhalb des Muschelkalksalzes durch ein eng begrenztes Fenster.

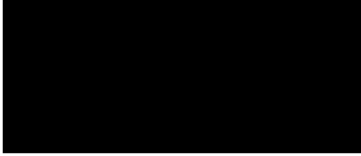
Es ist jedoch aus verschiedenen in diesem Bericht aufgeführten Gründen nicht möglich, daß in diesen großen Tiefen nicht salzgesättigte Porenwässer in Kontakt mit Steinsalzlagen existieren.

Eine Modellrechnung, die einen Süßwassereinstrom aus Wasserleitern unterhalb des Muschelkalksalzes unterstellt, halten wir daher für zu sehr konservativ. Die Ergebnisse dieses Rechenlaufes können u.E. daher nicht zur Beurteilung der Langzeitsicherheit der Schachanlage Konrad herangezogen werden.

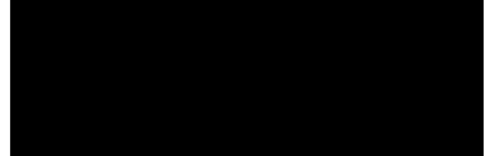
Aus der Sicht der BGR besteht daher keine Notwendigkeit, die im Plan Konrad 3/89 dargelegten Aussagen zur Langzeitsicherheit zu revidieren oder zu ergänzen.


BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE

Im Auftrag:



Sachbearbeiter: .




5. Literaturverzeichnis

BRIGHTMAN, M.A.; ALEXANDER, J. & GOSTELOW, T.P. (1987):  
Groundwater movement through mudrocks - measurement and  
interpretation. - British Geol. Surv., Report FLPU 87-1.

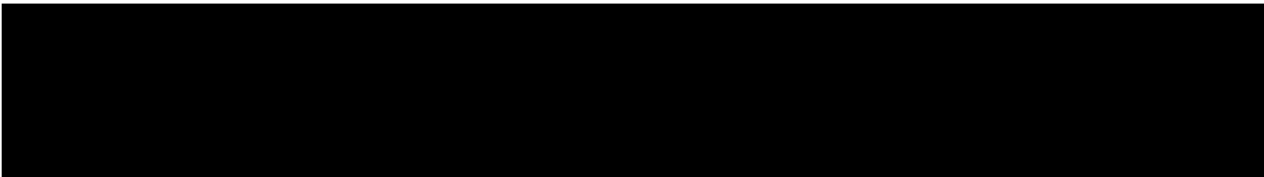
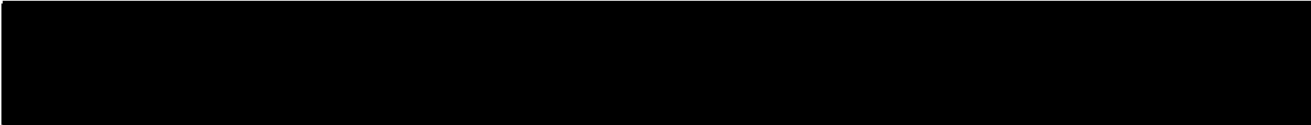
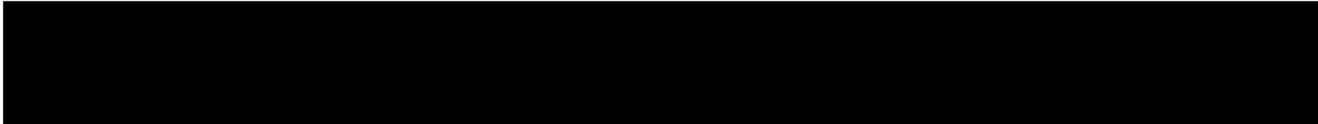
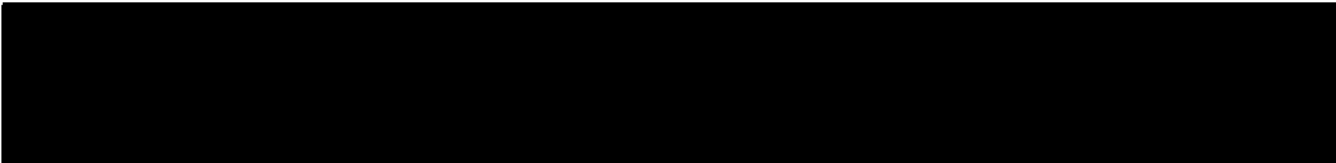
COOK, A.J. (1988): A desk study of surface diffusion and mass  
transport in clay. - British Geol. Surv., Technical Report  
WE/88/34.

DICKEY, P.A. (1968): Increasing concentration of subsurface  
brines with depth. - Chemical Geology, Vol. 4, S. 131-142.

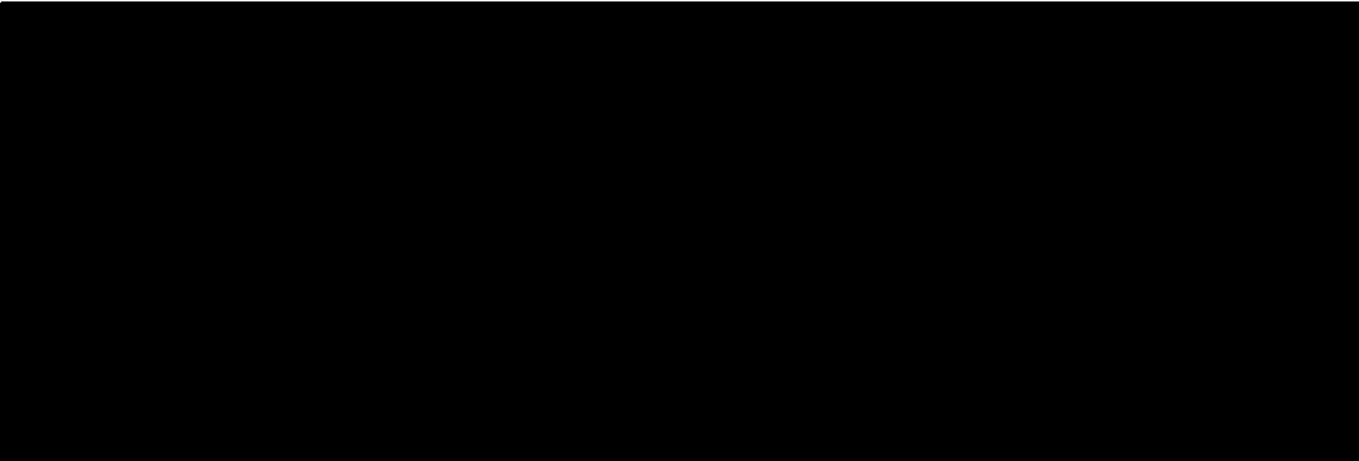


ECKL, H.; GOLDBERG, G. & NEUSS, M. (1989b): Hydrogeologische  
Vorgaben für Modellrechnungen zur Langzeitsicherheit  
(Modellgebiet Konrad) (Stand: 28.02.1989) - 2. Ergänzung  
(Stand: 05.04.1989). - Unveröffentl. Bericht, NLFb, Archiv-  
Nr. 104 798.

FREEZE, R.A. & CHERRY, J.A. (1979): Groundwater. - Prentice-Hall  
Inc.



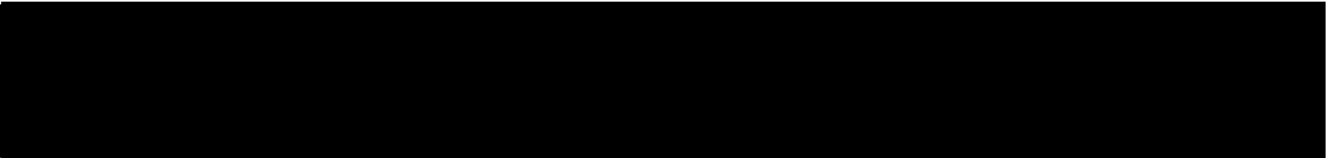




MANGELSDORF, P.C., MANHEIM, F.T. & GIESKES, J.M.T.M. (1970):  
Role of gravity, temperature gradients, and ion-exchange  
media in formation of fossil brines. - American Assoc.  
Petrol. Geol. Bull., Vol. 54, No. 4, S. 617-626.

MATTHESS, G. (1973): Die Beschaffenheit des Grundwassers.- Verlag  
Gebrüder Bornträger.

PTB (1989): Plan Endlager für radioaktive Abfälle Schachtanlage  
Konrad Salzgitter. - Plan 9/86 in der Fassung 3/89.



TÜV HANNOVER e.V. (1989): Ergebnisprotokoll - Planfeststellungs-  
verfahren Konrad - Fachgespräch über "Modellrechnungen zur  
Langzeitsicherheit Konrad" vom 29.11.1989 (Entwurf).

