

**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 N N
EU 368	9K	35212645	-	EG	RB	0014	00

**Titel der Unterlage:** Stellungnahme zu den Fragen vom TÜV und GRS sowie des NLFB zum BGR-Bericht "Stellungnahme zur Auswirkung des Salinars im Mittleren Muschelkalk auf die Tiefenwasserhydraulik im Gebiet der Schachtanlage Konrad" (EU 338)

Seite:

I.

Stand:

27.07.90

Ersteller:

BGR

Textnummer:

Stempelfeld:

PSP-Element TP...2122422

zu Plan-Kapitel:

3.1.10.3

PL

PL

5-8-90

5-8-90

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 des BfS.

# Revisionsblatt

BfS

eu 368	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	35212645	-	EG	RB	0014	00

Titel der Unterlage: Stellungnahme zu den Fragen vom TÜV und GRS sowie des NLfB zum BGR-Bericht "Stellungnahme zur Auswirkung des Salinars im Mittleren Muschelkalk auf die Tiefenwasserhydraulik im Gebiet der Schachtanlage Konrad" (EU 338)	Seite: II.
	Stand: 21.07.90

Rev.	Revisionsst. Datum	verant. Stelle	Gegenzeichn. Name	rev. Seite	Kat. *)	Erläuterung der Revision

\*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur  
 Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung  
 Kategorie S = substantielle Änderung  
 Mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden.

B 2.22/B2.24

Hannover, d. 27.07.1990  
- [REDACTED] -

Betr.: Planfeststellungsverfahren Konrad; Langzeitsicherheit  
Fachgespräch "Auswirkung des Salinars im Mittleren  
Muschelkalk auf die Tiefenwasserhydraulik" (EU 338) am  
09.05.1990

Bezug: Protokollentwurf zum o. g. Fachgespräch

Stellungnahme zu den Fragen von TÜV und GRS sowie des NLfB zum  
BGR-Bericht "Stellungnahme zur Auswirkung des Salinars im  
Mittleren Muschelkalk auf die Tiefenwasserhydraulik im Gebiet  
der Schachtanlage Konrad" (EU 338)

### I. Allgemeines

Die Grundvorstellung der BGR zur Geohydraulik im Raum Konrad bezieht die Wechselwirkung zwischen der Porenwassersalinität und deren Auswirkung auf das Grundwasser-Strömungsfeld ein:

Die Porenwässer stehen in Kontakt mit Salzstöcken und söhligem Salinar in größeren Tiefen. Dort geht Salz in Lösung, welches im Porenwasser durch Advektion, Dispersion und Diffusion weitertransportiert wird. So entstehen Muster mit örtlich verschiedenen Salzgehalten und somit verschiedenen Porenwasserdichten, die im Schwerfeld wiederum auf die Bewegung des Grundwassers einwirken; und zwar in einem solchen Sinn, daß die advective Grundwasserbewegung in großen Bereichen kleiner wird als bei Betrachtung der Geohydraulik bei Süßwasserverhältnissen. Die von der Advektion unabhängige Diffusion rückt als Transportmechanismus für Inhaltsstoffe dann mehr in den Vordergrund.

Orientierende und vergleichende Modellrechnungen bilden für diese Sichtweise die Basis ( [REDACTED] [REDACTED] 1990).

BGR unterstellt, daß diese Rechnungen einen wichtigen und richtigen Schritt in Hinblick auf eine genauere Quantifizierung der Grundwasserströmungs- und Salztransportverhältnisse für den Raum Konrad darstellen.

Die Antworten auf die Fragen von TÜV, GRS und NLFb sind vor diesem Hintergrund zu verstehen.

Die nachfolgende Stellungnahme ist so aufgebaut, daß unter a) nochmals die Fragen der Gutachter der Genehmigungsbehörde, unter b) die Antworten der BGR aufgeführt sind.

## II. Stellungnahme zu den Fragen des NLFb

a) 1. Gibt es außer den von BGR angeführten Messungen weitere Naturdaten, die den diffusionsgesteuerten Transportmechanismus untermauern?

b) Die BGR leitet aus der in Bereich der Grube Konrad bestehenden linearen Salinitätsverteilung der Wässer die Aussage ab, daß im Nahfeld der Grube in vertikaler Richtung der diffusive Transport gelöster Inhaltsstoffe aus salzgesättigten Lösungen im Untergrund den dominierenden Transportmechanismus darstellt.

Anhand einer Abschätzung des diffusiven Massenflusses und dem Vergleich mit den dem PLAN KONRAD zugrundeliegenden Modellrechnungen mit dem Rechencode SWIFT wird hieraus die Aussage abgeleitet, daß die Aussagen zur Langzeitsicherheit des Endlagers Konrad konservativ sind.

Parallel zum vertikalen linearen Anstieg der Salzgehalte kommt es bei den Konrad-Wässern zu einer charakteristischen, ebenfalls vertikal linear verlaufenden Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Wässer. Dies betrifft

die Wässer des Korallenoolith gleichermaßen wie das Wasser des Hilssandstein und des "Cornbrash". Die Veränderung ist dadurch charakterisiert, daß  $\text{Na}^+$  mit zunehmendem Lösungsinhalt in steigendem Maße durch  $\text{Ca}^{++}$  und  $\text{Mg}^{++}$  sowie  $\text{K}^+$  ersetzt wird. Charakteristisch ist ferner eine salinitätsabhängige Veränderung der Anteile wichtiger Spurenelemente, die für die Beurteilung der Genese herangezogen werden (vgl. [REDACTED] 1989).

Die Parallelität zwischen dem Anstieg der Salzgehalte und der charakteristischen linearen Veränderung in der chemischen Zusammensetzung der Wässer legt es nahe, Genese und Chemismus der Wässer mit dem Transport von gelösten Salzen aus den tiefliegenden Teilen des Sedimentbeckens in Verbindung zu bringen.

Aus der Sicht der BGR handelt es sich bei den Wässern aus der Grube Konrad um marine Porenwässer, die durch ganz wesentlich diffusiven Transport gelöster Salze evaporischer Restlösungen aus tiefliegenden Sedimenten zur Tiefe hin zunehmend überprägt wurden.

Eine weitere Bestätigung dafür, daß konvektive Transportvorgänge im Bereich der Grube um Größenordnungen langsamer ablaufen, als dies die Ergebnisse der Süßwassermodellrechnungen andeuten, liefern auch Messungen der Edelgas-Isotopengehalte und der  $\delta \text{O-18}/\delta \text{D}$ -Werte an den Konrad-Wässern.

Hohe Gehalte an radiogenem Helium im Wasser des Hilssandstein und im Wasser vom Ort 300 ergeben unter der Annahme einer in situ-Produktion des Helium ein Wasseralter in der Größenordnung von mehreren zehner- bis hundert Millionen Jahren. Die berechneten Alter liegen damit in der Größenordnung der Gesteinsalter (vgl. [REDACTED] 1989, S. 25 - 28). Die Edelgasmessungen geben somit Hinweis darauf, daß es seit der Ablagerung der Sedimente im Oberen Jura zu keinem wesentlichen Austausch vorhandener Porenwässer aufgrund advektiver Porenwasserbewegungen gekommen ist.

Die weitgehend konstanten Deuterium-Gehalte aller Konrad-Wässer und die zur Tiefe hin zunehmenden Gehalte an O-18 zeigen, daß das schwere Sauerstoffisotop durch Isotopenaustausch zwischen Wasser und Calcit angereichert wurde. Die starke Temperaturabhängigkeit des Isotopenaustausches führt mit ansteigenden in-situ-Temperaturen, d.h. zunehmender Tiefenlage der Wässer zu einer fortschreitenden Verschiebung der delta O-18-Werte des Wassers hin zu höheren O-18-Gehalten. Aus den gemessenen Werte läßt sich ableiten, daß sich dieser Isotopenaustausch zwischen Wasser und Gesteinsmatrix im gesamten Bereich der Grube im (temperaturabhängigen) Gleichgewichtszustand befindet. (vgl. [REDACTED] 1989, S. 28 - 30). Da bei den herrschenden vergleichsweise niedrigen in-situ-Temperaturen von ca. 25 bis 50 ° C sehr lange Zeiträume benötigt werden, ehe sich ein solcher Gleichgewichtszustand einstellt, können die delta O-18/delta D-Werte der Wässer indirekt ebenfalls als Indiz für sehr geringe Porenwasserbewegungen gewertet werden.

- a) 2. Wie sind andere, aus dem Projektgebiet stammende Daten, die ein durchaus abweichendes Bild der Salinitätsverteilung aufweisen, in die Vorstellungen der BGR zu integrieren?
  
- b) Anlässlich der Sitzung im NMU am wurden vom NLfB Daten zur Salinität von Erdölbegleitwässern des Norddeutschen Raumes vorgestellt. Es handelt sich hierbei im wesentlichen um Analysenmaterial aus den Jahren vor 1960. BGR wird zu diesen Daten, die teilweise auch aus Erdölfeldern der näheren Umgebung der Grube Konrad stammen, und - soweit vorhanden - zu neuerem Datenmaterial in einem gesonderten Bericht Stellung nehmen.  
Weitere Angaben zur Salinität von Tiefenwässern aus dem Raum Konrad sind der BGR aus einer Arbeit von KOLBE (KOLBE

1964) über den Eisenerzbergbau im Raum Salzgitter bekannt. In der genannten Arbeit weist KOLBE darauf hin, daß in den Eisenerzgruben Haverlahwiese und Hannover'sche Treue am Salzgitter-Höhenzug im Wasserleiter des Rhät in einer Tiefe von 300 bis 500 m unter Gelände beim ersten Anfahren des Horizontes nichtversalzene Wässer mit einem Salzgehalt von weniger als 1 g/l angetroffen wurden. Wässer mit ähnlich niedrigen Salzgehalten wurden auch im Hilssandstein in der Grube Georg im Süden des Salzgitter-Höhenzuges bis in 1100 m Tiefe angetroffen.

Auch diese Beobachtungen decken sich sehr gut mit den Ergebnissen der Salz/Süßwasser-Modellrechnungen mit dem Rechencode SUTRA an einen N-S-verlaufenden Schnitt durch das Modellgebiet Konrad: Im Modell stellt sich im größten Teil des Modellgebietes eine nahezu lineare vertikale Salinitätsverteilung mit überwiegend vertikalem diffusivem Stofftransport ein, während sich im Bereich der topografischen Hochlage des Salzgitter-Höhenzuges eine tiefreichende Süßwasserlinse mit vorherrschend konvektivem Grundwasserstrom ausbildet (vgl. [REDACTED] 1990).

- a) 3. Warum sind neben der Diffusion nicht auch andere Vorgänge diskutiert worden, die ebenfalls zu einem linearen Salinitätsgradienten führen können?
- b) Entsprechende Überlegungen wurden im Bericht der BGR "Hydrogeologie im Gebiet der Grube Konrad - Zur Genese der Tiefenwässer aus der Grube Konrad" ([REDACTED] 1989) angestellt. Im Kapitel 3.4 wird auf die Frage eingegangen, ob die im Vergleich zum Meerwasser stark erhöhten Salzgehalte der Konrad-Wässer (und die lineare Zunahme der Salzgehalte zur Tiefe hin) ausschließlich in ursächlichem Zusammenhang mit den im Untergrund vorhandenen Evaporiten stehen, oder ob darüber hinaus auch sogenannte Ionensiebeffekte zu einer Aufsalzung und Ausbildung des bestehenden Gradienten

geführt haben können.

Auf den Seiten 15 und 16 des Berichtes wird hierzu ausgeführt:

"Von einer Gruppe von Autoren wird die Hypothese vertreten, daß hohe Salzgehalte in Formationswässern auf Ionensiebeffekte, d.h. Membraneffekte in Tongesteinen zurückgeführt werden können (BERRY 1959, BREDEHOEFT et. al. 1963, v. ENGELHARDT 1973, WHITE 1969). Bei dieser Hypothese wird vorausgesetzt, daß Tonminerale permeabel für Wassermoleküle, nicht aber für geladene Ionen sind. Fortschreitende Sedimentation führt zu einer kontinuierlichen Verringerung des anfänglich hohen Porenanteils von tonigen Sedimenten, wodurch es zu einer im wesentlichen aufwärts gerichteten Porenwasserbewegung kommt. An Tonmineraloberflächen adsorbierte Kationen hindern nach dieser Hypothese Anionen an der Passage und führen so zu einer fortschreitenden Anreicherung an Salzen in den Porenwässern und einer entsprechenden Abreicherung der Filtrate.

Der mit ansteigendem Überlagerungsdruck zunehmende Wirkungsgrad der Ionensiebe bewirkt einen zur Tiefe hin ansteigenden Salzgehalt der verbleibenden Porenwässer. WHITE (1968) folgert daher, daß saline Formationswässer zum größten Teil von marinen Porenwässern abstammen, deren ursprüngliche chemische Zusammensetzung durch Wechselwirkungen zwischen Porenwasser und Sedimenten und durch Ionensiebeffekte im Verlaufe der Diagenese nachhaltig verändert wurde. Die mit zunehmendem Salzgehalt fortschreitende Anreicherung an Cl<sup>-</sup> und Ca<sup>++</sup> führen WHITE (1968) und BERRY (1968) auf die geringere Mobilität dieser Ionen im Vergleich zu Na<sup>+</sup> zurück.

Experimentelle Untersuchungen bestätigen grundsätzlich die Membranfilterwirkung bei sehr hohen Überdrücken von mehreren hundert bar und hohen Auflasten. Sie zeigen darüber hinaus eine selektive Rückhaltung einzelner Ionen in Abhängigkeit des elektrischen Potentials der hydratisierten Ionen (KHARAKA & BERRY 1973, HAYDON & GRAF 1985)."



Die Übertragbarkeit dieser Laborexperimente auf natürliche geologische Systeme und damit die Wirksamkeit toniger Sedimente als Ionensiebe überhaupt wird allerdings von zahlreichen Autoren grundsätzlich in Zweifel gezogen. So verweisen MANHEIM & HORN (1968) darauf, daß für die Salzanreicherung durch Ionensiebefeffekte in Tonmembranen hohe Druckdifferenzen erforderlich sind, um das osmotische Druckpotential zwischen an- und abgereicherten Lösungen und den Strömungswiderstand bei der Passage gering durchlässiger Ton-Membranen zu überwinden. Typische osmotische Drucke von Salzlösungen mit Meerwasser-Zusammensetzung schwanken zwischen 7,1 bar bei einer einprozentigen Salzlösung und 350 bar bei einer gesättigten Salzlösung. Die Autoren folgern hieraus, daß ".the maximum observed pressure gradients in the normal sedimentary environment fall far short of values which theory and experiment indicate must be a minimum to overcome osmotic forces created by the separation of salt and water" (vgl. CARPENTER et. al. 1974, S. 1203).

Gegen ein Zutreffen der Hypothese spricht weiterhin, daß in Laborexperimenten bei extremen Druckgradienten und hohen hydrostatischen Drucken Anreicherungsfaktoren lediglich von wenigen Prozenten bis maximal wenigen Zehnerprozenten ermittelt wurden. Selbst bei Übertragung der experimentell ermittelten Anreicherungsfaktoren auf natürliche Systeme wäre somit ein Wasserdurchsatz von einem Vielfachen des Sedimentvolumens erforderlich, um Salzkonzentrationen von einem Mehrfachen der Ausgangskonzentration zu erzeugen. Die Experimente zeigen zudem mit zunehmenden Salzgehalt der Wässer ein stark abnehmendes, gegen null tendierendes Rückhaltevermögen der Tonminerale (CARPENTER et. al. 1974).

Zusammenfassend läßt sich aus unserer Sicht feststellen, daß die Wirkung von Tonsteinen als semipermeable Membranen in natürlichen Systemen bisher weder belegt noch eindeutig widerlegt ist. Sicher ist jedoch, daß in Bereich der Grube

Konrad diese Effekte allein weder eine Aufkonzentrierung von Porenwässern hin bis zu mehr als halbgesättigten Lösungen noch die vorhandene lineare Salinitätsverteilung erklären können, sondern allenfalls eine marginale Veränderung der Zusammensetzung der Wässer bewirken haben können.

In einer Arbeit von MANGELSDORF et. al. (1970) werden Überlegungen angestellt, in wieweit neben neben advektiv und diffusiv gesteuerten Transportvorgängen bzw. möglichen Ionensiebeefferkten möglicherweise auch andere physikalische Vorgänge zur Erklärung der teufenabhängigen Zunahme der Salzgehalte in Formationswässern herangezogen werden können. Betrachtet wird die Möglichkeit eines gravitativen Absinkens gelöster Ionen im Schwerfeld der Erde sowie ferner die Auswirkung einer möglichen Ausbildung von Thermozyklen in tonmineralhaltigen Sedimenten aufgrund des vorhandenen Temperaturgradienten.

Anhand von theoretischen Ableitungen kommen die Autoren zum Schluß, daß die betrachteten Mechanismen nicht Erklärung der tiefenabhängigen Zunahme der Salzgehalte in Tiefenwässern herangezogen werden können, sondern allenfalls zu einer Überlagerung anderer, dominierender Mechanismen führen.

Zusammenfassend ergibt sich aus der Sicht der BGR, daß die Herausbildung des bestehenden Salinitätsgradienten aufgrund der genannten physikalischen Effekte nicht wahrscheinlich ist, sondern auf einen ganz wesentlich durch Diffusion gesteuerten Stofftransport gelöster Salze aus dem Bereich unterhalb der Grube zurückzuführen ist.

- a) 4. In welcher Weise beeinflussen die Flanken der in der Umgebung befindlichen Salzstöcke und die von ihnen ausgehenden Diffusionsvorgänge die Salinitätsverteilung

(Ausbildung eines konstanten Gradienten)?

6. Wie sind Ablaugungswässer zu bewerten, die bereits in geringen Tiefen hohe Dichten aufweisen können, so daß durch sie durchaus eine Grundwasserbewegung initiiert werden kann?
- b) Im Rahmen des F&E-Vorhabens führt die BGR Modellrechnungen durch, bei denen der Einfluß randlicher Salzstöcke und die durch deren Ablaugung bedingten Einflüsse auf das Strömungsfeld sowie die Dichteverteilung untersucht werden. Dabei wird kein zusätzlicher Antrieb durch ein aufgeprägtes Druckfeld zugelassen. Es wurde allein der Einfluß entstehender Ablaugungswässer an Salzstockrändern auf das Grundwassersystem betrachtet. In allen Fällen nimmt die Salzkonzentration zum Salinar am Modellboden und zu den Salzstockflanken hin zu, wobei der Dichteanstieg in einem Bereich, der vergleichbar wäre mit der Lage der Grube Konrad, etwas größer ist als bei den beobachteten Daten. Die Kurven der Dichtezunahme mit der Tiefe aus den Modellrechnungen für ein angenähertes Nord-Süd-Profil und den hier beschriebenen auf einem vereinfachten West-Ost-Profil hüllen die gemessenen Daten ein. Allgemein führt in den neuen Rechnungen die gegenüber Süßwasser höhere Dichte des salinen Porenwassers zu dessen Abwärtsbewegung im Schwerfeld der Erde in den Nahbereichen der Salzstockflanken. Der Antrieb bewirkt Grundwasserzirkulationsmuster (rotierende Konvektionszellen), deren berechnete advective Rotationsdauern bei mehreren Millionen Jahren mit Abstandsgeschwindigkeiten kleiner als mm/a liegen. Bei einer dreidimensionalen Betrachtungsweise ist zu erwarten, daß Ablaugung an den Salzstockrändern für eine weitere Erhöhung der Konzentration im tieferen Untergrund des Untersuchungsraumes führt. Die Fließgeschwindigkeiten, die durch die abtauchenden, hochsalinaren Wässer induziert werden, bewegen sich jedoch nach den Ergebnissen der

Modellrechnungen in einer solchen Größenordnung, daß dadurch die bisher getroffenen Aussage zur Ausbildung der Dichteverteilung nicht in Frage gestellt werden. Die hier herangezogenen Ergebnisse werden z. Zt. in einem Fachbericht zum Forschungsvorhaben zusammengestellt.

- a) 5. Sind nicht auch andere Druckpotentiale an der Modellbasis zu berücksichtigen, die höher sind als im Salzgitter-Höhenzug (z.B. Elm)?
- b) Diese Frage versteht BGR vor dem Hintergrund der Süßwassermodellrechnungen der GRS, die NLfB initiiert hat und bei denen die Differenz der topographischen Höhen zwischen Elm und dem infrage stehenden Untersuchungsgebiet als Antrieb für eine Grundwasserbewegung angesehen wird.

Die Dichtemodelle der BGR zeigen eindeutig, daß in großer Tiefe die horizontalen Druckgradienten zwischen Hochlage und Vorland sehr klein werden, weil unter der Hochlage sich eine tiefgreifende Süßwasserlinse mit geringerer Dichte ausbildet als auf einem vergleichbaren Profil im Vorland.

Zur Berücksichtigung der Hydraulik in einem Umfeld, das bis zum Elm reicht, müßte man auf jeden Fall die in der Einleitung beschriebenen Dichte-Modelle heranziehen. Es würde sich dann aller Voraussicht nach tendenziell zeigen, daß sich unter jeder topographischen Hochlage eine Süßwasserlinse ausbildet, deren Auswirkung auf Gebiete benachbarter Hochlagen nur marginal ist.

Tiefgreifender advektiver Transport im Bereich der Grube Konrad ist nicht in Einklang mit den gemessenen Dichteprofilen.

- a) 7. Wie sind die in der Stellungnahme genannten F & E - Arbeiten, die z.T. auf Modellrechnungen basieren, verifiziert und validiert?
  
- b) Verifizierungsrechnungen zur Salz-/Süßwasserproblematik liegen nur in geringem Maße für die eingesetzten Modelle vor. Entsprechende Rechnungen sind z.B. im SUTRA-Manual (VOSS 1984) nachzulesen (Henry-Problem) oder durch Beteiligung an HYDROCOIN und INTRAVAL erbracht worden. Dabei erfolgten auch Validierungsrechnungen zu Teilsystemen. Eine vollständige Verifizierung und Validierung (insbesondere standortspezifisch) liegt bislang nicht vor.

### III. Stellungnahme zu den Fragen von TÜV und GRS

- a) 1. Erläuterung der Theorie bei der Interpretation der Dichtegraphen.
  
  - b) Die angesprochenen Erläuterungen mit Literaturhinweisen finden sich auf den Seiten 3 und 4 der EU 338. Wir verweisen weiterhin auf entsprechende Fachliteratur z.B. FREEZE & CHERRY (1979), Kapitel 3.4 und 9.2.
- 
- a) 2. Können die im BGR-Bericht angesprochenen identischen Zusammensetzungen der Wässer des Cornbrash und des Korallenoolith (Seite 6/7) nicht auch auf einem konvektiven Aufstrom von Tiefenwasser beruhen?
  
  - 3. Kann das gemessene Dichteprofil auch aus advektiven Transportvorgängen salinärer Wässer aus dem Liegenden unter Zumischung von Porenwässern geringerer Salinität erklärt werden?

- b) Die analysierten Wasserproben aus der Grube Konrad entstammen 3 verschiedenen Wasserleitern: den vergleichsweise gering durchlässigen Kluftwasserleitern Korallenoolith und "Cornbrash" sowie dem gut durchlässigen Porenwasserleiter des Hilssandstein. Innerhalb des Korallenoolith, dem der größte Teil der Wasserproben entstammt, erfolgt eine kontinuierliche Zunahme der Salzgehalte zur Tiefe hin verbunden mit einer charakteristischen Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Wässer. An diese lineare Tendenz innerhalb des Korallenoolith passen sich die Wässer des "Cornbrash" und des Hilssandstein an, obwohl beide Horizonte jeweils durch ca. 150 bzw. 200 m gering durchlässige Tonsteine vom Korallenoolith getrennt sind. Aus unserer Sicht lassen sich diese Zusammenhänge sinnvoll nur dahingehend interpretieren, daß im gesamten durch die Grube erschlossenen Gebirge mit einer horizontalen Ausdehnung von ca. 5 km<sup>2</sup> und einer vertikalen Erstreckung von 800 m eine näherungsweise horizontale, formationsübergreifende Salinitätsschichtung mit einem konstanten Salinitäts- und Dichtegradienten besteht.

Die vorhandene Salinitätsschichtung könnte - ohne Berücksichtigung der vorhandenen Dichteunterschiede der Porenwässer - dahingehend interpretiert werden, daß es sich bei den Wässern der Grube um lineare Mischungsreihen zweier Komponenten unterschiedlicher Salinität handelt. Denkbar wäre zum Einen ein advektiver, vertikal gerichteter Aufstieg hochkonzentrierter Wässer aus tiefliegenden Horizonten und deren Durchmischung mit vorhandenen, geringer mineralisierten Porenwässern (Frage 2) oder aber eine Verdünnung vorhandener hochkonzentrierter Porenlösungen durch niedrig mineralisierte Wässer aufgrund abwärts gerichteter advektiver Porenwasserbewegungen.

Zu beiden Modellen hat BGR in [REDACTED] (1989) Stellung genommen. Zur Möglichkeit einer Zumischung gering mineralisierter Wässer zu vorhandenen hochkonzentrierten Poren-

lösungen im Bereich der Grube Konrad wird auf S. 34 ausgeführt:

█ (1989) vertritt die These, daß die ursprünglich gesättigten Porenlösungen des Korallenoolith aufgrund der seit dem Miozän bestehenden Grundwasserzirkulation auf den heutigen Salzgehalt verdünnt worden sind. Der Anstieg der Salzgehalte zur Tiefe hin wäre nach diesem Modell durch eine zur Tiefe hin abnehmende Zumischung von meteorischen Wässern zu erklären. Problematisch erscheint wiederum, eine Erklärung für den nachträglichen Transport evaporitischer Lösungen in "Cornbrash" und Hilssandstein zu finden. Vorstellbar ist, daß die gesättigten Lösungen zunächst durch konvektiven Transport in beide Leiter gelangten, die ursprünglich enthaltenen Porenwasser verdrängten, und anschließend ebenso wie die Wässer des Korallenoolith durch meteorische Wässer verdünnt wurden. Die von █ (1989) postulierte Zumischung meteorischer Wässer durch konvektiven Transport mit zur Tiefe hin abnehmendem Grad der Durchmischung ist auf Kluffleiter anwendbar, wenn ein bevorzugter Transport auf Klüften in Verbindung mit Matrixdiffusion unterstellt wird. Ein konvektiver Transport meteorischen Wassers erfordert jedoch aufgrund der großen Dichteunterschiede zwischen oberflächennahem Grundwasser und stark salzhaltigem Tiefenwasser und der geringen hydraulischen Leitfähigkeit der Unterkreidetonsteine steile, abwärts gerichtete hydraulische Gradienten, deren Existenz wenig wahrscheinlich ist. Gegen die postulierte Zumischung meteorischer Wässer spricht auch die Tatsache, daß im Gebiet der Grube der Übergang zwischen niedrig mineralisiertem oberflächennahem Grundwasser und salinem Tiefenwasser an einer definierten Grenzfläche innerhalb des oberflächennahen Stockwerks der Plänerkalke erfolgt. Der sprunghafte Anstieg der Salzgehalte an dieser Grenzfläche läßt darauf schließen, daß zwischen beiden Wassertypen kein nennenswerter Wasseraustausch erfolgt".

Gegen eine Zumischung gering mineralisierter, oberflächen-

naher Wässer sprechen auch die Gehalte an stabilen Sauerstoff- und Wasserstoffisotopen in den Wässern. Die völlig unterschiedliche isotopische Zusammensetzung der oberflächennahen Grundwässer auf der einen Seite und der Tiefenwässer aus der Grube Konrad auf der anderen Seite spricht dafür, daß zwischen beiden Wassertypen über geologische Zeiträume hinweg kein nennenswerter Austausch stattgefunden hat.

Zum Genesemodell eines advektiven Aufstiegs hochsaliner Lösungen aus Bereichen unterhalb des Grubengebäudes und deren Vermischung mit vorhandenen Porenwässern wird auf S. 35 und 36 ausgeführt:

"Zahlreiche Untersuchungen an Tiefenwässern zeigen übereinstimmend, daß deren Salzgehalte zur Tiefe hin ansteigen. Sind im Untergrund des Sedimentbeckens Salzablagerungen vorhanden, so erreichen die Salzkonzentrationen der Porenwässer darüberliegender Sedimente in den überaus meisten Fällen die Sättigungskonzentration für NaCl. Es ist daher naheliegend, auch für das Gebiet der Grube Konrad zu unterstellen, daß sich der im aufgeschlossenen Tiefenbereich von 470 bis 1300 m erkennbare Trend in Salzgehalt und Chemismus der Wässer zur Tiefe hin fortsetzt und die Salzkonzentrationen in den Wasserleitern der Trias unterhalb 2000 m Tiefe im Bereich der NaCl-Sättigung liegen. (...) Die Wässer der Grube können unter dieser Voraussetzung somit als Mischungen aus gesättigten evaporitischen Restlösungen, welche aus tieferliegenden Wasserleitern in den Bereich der Grube migrierten, und niedriger konzentrierten Porenwässern aus den aufgeschlossenen Horizonten interpretiert werden. (...) Eine solche flächenhafte Migration gesättigter Lösungen aus tiefer gelegenen Horizonten würde zudem eine schlüssige Erklärung dafür bieten, daß Korallenoolith- und "Cornbrash"-Wässer im Bereich der dritten Sohle eine identische Zusammensetzung aufweisen.

Ähnlich wie bei der von [REDACTED] (1989) postulierten Durch-



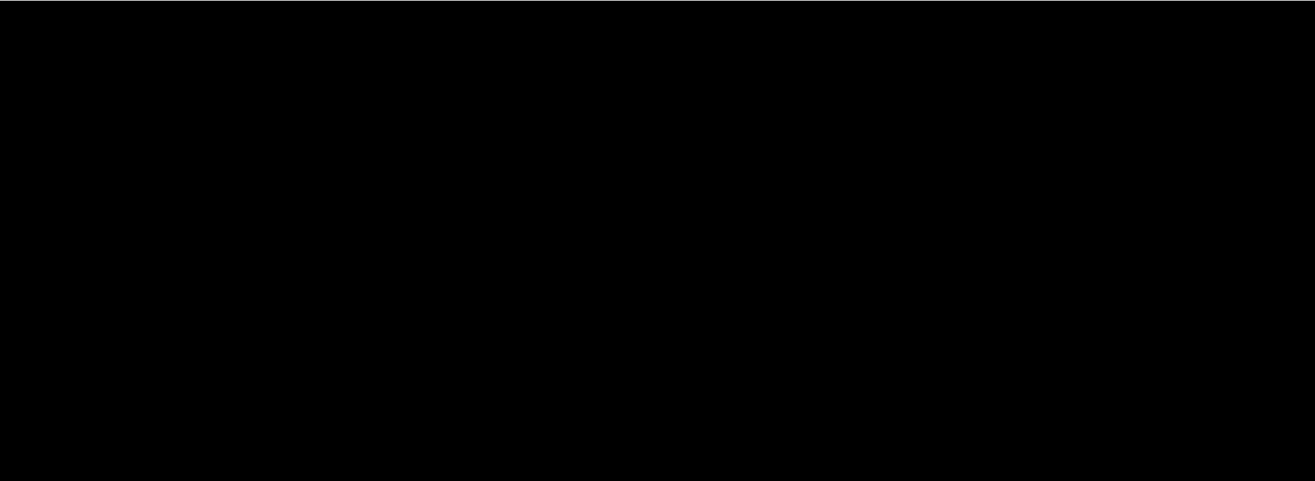
mischung der Porenwässer mit meteorischen Wässern ist der lineare Salinitätsgradient jedoch nur schwer mit einem aufwärts gerichteten, konvektiven Transport gesättigter Lösungen in Einklang zu bringen. Vorstellbar ist allenfalls ein bevorzugter Transport auf Klüften, der in Verbindung mit Matrixdiffusion zu einem nach oben hin abnehmenden Grad der Aufsalzung von Porenwässern geführt haben könnte. Aufgrund der großen Durchlässigkeitskontraste zwischen Nichtleitern und (Gering-)Leitern wäre in diesem Fall jedoch zu erwarten, daß der Transport auf Klüften bevorzugt innerhalb der besser leitenden Horizonte erfolgt. Folgerichtig müßte das Wasser des stratigrafisch tiefer gelegenen "Cornbrash" höhere Salzgehalte als das Wasser des Korallenoolith aufweisen, was jedoch nicht der Fall ist.

- a) 4. Wie kann das Entstehen eines Druckgradienten in den Bereichen fehlenden Muschelkalksalinaren unter Einbeziehung der Hochlagen des Buntsandsteins (z.B. Harz, Elm) und unter Berücksichtigung einer raschen Aufkonzentration der GW-Neubildungswässer in Bereichen von Salzstrukturen ausgeschlossen werden?
- b) Unsere in der Einleitung erläuterte Grundvorstellung zur Hydrodynamik salinärer Porenwässer und die darauf basierenden Antworten zu den Fragen 4), 5), und 6) des NLFB lassen eine solche Betrachtungsweise nicht zu.

#### zitierte Literatur:

CARPENTER, A.F.; TROUT, M.L. & PICKETT, E.E. (1974): Preliminary report on the origin and chemical evolution of lead-and-zinc-rich oil field brines in Central Mississippi. - Economic Geology, Vol. 69, No. 8, S. 1191-1206.

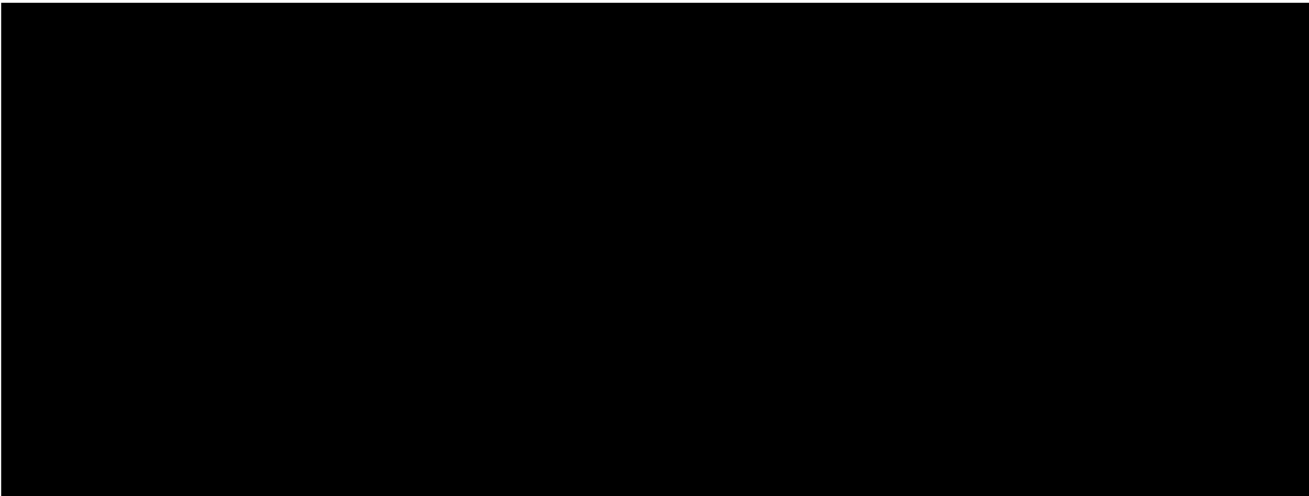
FREEZE, R.A. & CHERRY, J.A. (1979): Groundwater. - Prentice-Hall Inc.



KOLBE, H. (1964): Hydrogeologische Aufgaben im Salzgitter Eisenerzbezirk. - Z. deutsch. geol. Ges., 116, 1, S. 142 - 159.

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.

MANHEIM, F.T. & HORN, M.K. (1968): Composition of deeper subsurface waters along the Atlantic continental margin. - Southeast. Geol., Vol. 8, S. 215-236.



VOSS, C.I. (1984): SUTRA: A Finite-Element Simulation Model for Saturated-Unsaturated, Fluid-Density-Dependent Ground-Water Flow with Energy Transport or Chemically-Reactive Single Species Solute Transport. - U.S. Geol. Surv. Water Resour. Invest. Rep. 84-4369.