

Mitteilungen aus dem Geologischen Institut  
der Universität Hannover

Redaktion: J.-P. Groetzner

Heft 18

Probleme und Risiken bei der geplanten  
Einlagerung radioaktiver Abfälle  
in einen nordwestdeutschen Salzstock

von  
F. Mauthe

Hannover 1979

RA  
356  
(18)

Inst. over	ISSN 0440-2812	18	60 Seiten, 5 Abb.	Hannover Sept. 1979
---------------	----------------	----	-------------------	------------------------

MITTEILUNGEN AUS DEM GEOLOGISCHEN INSTITUT  
DER UNIVERSITÄT HANNOVER

-----

- Heft 1: BERNHARD, H.: Der Drucksetzungsversuch als Hilfsmittel zur Ermittlung der Mächtigkeit des pleistozänen Inlandeises in NW-Niedersachsen. - 108 S., 5 Taf., 1963. DM 5.-
- Heft 2: RICHTER, K.: Beziehungen zwischen lokalem Grundwasserstand und Kryoturbationen auf Bornholm. - SICKENBERG, O.: Neue Säugetierfunde aus dem Gipskarst von Osterode/Harz. - MICHAEL, E.: Mikroplankton und Sporomorphe aus dem NW-deutschen Barrême. - 48 S., 7 Taf., 1964. DM 3.-
- Heft 3: RICHTER, K.: Der Salzstock von Lüneburg im Quartär. - BENDA, L. & MICHAEL, E.: Ein neues Vorkommen von marinem Holstein-Interglazial bei Lüneburg. - RICHTER, K.: Konnektierungsmöglichkeiten niedersächsischer Flugsandrhythmen. - 50 S., 10 Taf., 1966 DM 2.50
- Heft 4: SCHRAPS, A.: Schwermineraluntersuchungen an quartären Sanden im Bereich der ostfriesischen Inseln Baltrum, Langeoog und Spiekeroog. - 149 S., 17 Taf., 1966. DM 5.50
- Heft 5: VIERHUFF, H.: Untersuchung zur Stratigraphie und Genese der Sandlößvorkommen in Niedersachsen. - 100 S., 36 Abb., 1967. DM 5.-
- Heft 6: LOOK, E.-R.: Geologisch-stratigraphische Untersuchungen in Sedimenten der Elster- und Saale-Eiszeit (Pleistozän) am Elm, östlich Braunschweig. - 108 S., 18 Abb., 4 Tab., 27 Taf., 1968. DM 6.60
- Heft 7: SCHÜTT, G.: Die Cromerzeitlichen Bären aus der Einhornhöhle bei Scharzfeld. - 121 S., 3 Abb., 32 Tab., 6 Taf., 1968 vergriffen
- Heft 8: Sonderheft zum 65. Geb.-Tag von K. RICHTER mit Beitr. von J.-D. BECKER-PLATEN, H. BERNHARD, J.-P. GROETZNER, H.-U. HARK, H. HILTERMANN, E.-R. LOOK, G. LÜTTIG, E. MALZAHN, R. MARCZINSKI, H. PUTZER, W.G. SCHRAPS, G. SCHÜTT, E.-G. SCHULZE, O. SICKENBERG, H. VIERHUFF. - 190 S., 1968. DM 8.-
- Heft 9: ZEINO-MAHMALAT, H.: Die Geologie der Mittelrätsschichten von Velpke (nördl. Helmstedt). - PAPE, Hg.: Die Malmschichten vom Langenberg bei Oker (nördl. Harzvorland). - 134 S., 21 Abb., 1 Tab., 16 Taf., 1970. DM 6.-

- Heft 10: Sonderheft zum 70. Geb.-Tag. von O. SICKENBERG mit Beiträgen von C. BRAUCKMANN, G. HILLMER, U. LEHMANN, E. MICHAEL, Hg. PAPE, K. RICHTER, G. SCHÜTT, H. TOBIEN. - 162 S., 1971 DM 8.50
- Heft 11: GROETZNER, J.-P.: Geschiebeführung und Stratigraphie saaleeiszeitlicher Ablagerungen (Pleistozän) im Südwestteil des Uelzener Beckens (Nordost-Niedersachsens). - 76 S., 20 Abb., 7 Tab., 2 Taf., 1972.- DM 5.-
- Heft 12: PREUSS, H.: Gliederung und Zusammensetzung der Weserterrassenkörper bei Bodenfelde (mit einer geologischen Kartierung). - RAUSCH, M.: Der "Dropstein-Laminat" von Bögerhof und seine Zuordnung zu den Drenthe-zeitlichen Ablagerungen des Wesertales bei Rinteln. - 86 S., 6 Tab., 4 Taf., 1975. DM 9.90
- Heft 13: (Unterkreideheft). - GEORGI, K.-H.: Mikrofaunistische Untersuchungen d. Hilssandstein-Region (Apt/Alb) im Raum Salzgitter-Goslar. - SEILER, W.C.: Mikropaläont. Untersuchungen z. stratigraph. Einstufung des Hilssandsteins (Unterkreide) in der Hilsmulde (Südniedersachsen). - HEINEMANN, B.: Lateritische Verwitterungsböden aus Hils-Sandstein (Unterkreide) und Dogger-tonen im Harzvorland bei Goslar. - 152 S., 7 Taf., 24 Abb., 2 Tab., 1976. DM 11.-
- Heft 14: RAUSCH, M.: Fluß-, Schmelzwasser- und Solifluktionsablagerungen im Terrassengebiet der Leine und der Innerste - ein Beitrag zur pleistozänen Flußgeschichte Südniedersachsens. - 84 S., 16 Abb., 4 Tab., 1 Taf., 1977. DM 7.-
- Heft 15: KRÜGER, S.: Zur Taxionomie und Systematik isolierter Schwammskleren mit Beispielen aus der Unter-Kreide Ostniedersachsens. - DENEKE, E.: Ein Profil von den Ornat-Schichten (Callovium-Dogger) bis zum unteren Korallenoolith (Oxfordium-Malm) im Grubenfeld "Konrad", Salzgitter-Bleckenstedt (Ostniedersachsen). - HENNINGSSEN, D.: Schwermineral-Untersuchungen in quartär-zeitlichen Sanden nordwestlich von Hannover. - 146 S., 3 Taf., 1978. DM 11.50
- Heft 16: FISCHER, U.: Der Schichtaufbau des tieferen Lias am Egge-Osthang zwischen Horn und Langeland (Westfalen). - MUTTERLOSE, J.: Ontogenie und Phylogenie der Belemnitenart *Hibolites jaculoides* SWINNERTON, 1937 aus dem Hauterivium (Unterkreide) von NW-Deutschland (Sarstedt) und NE-England (Speeton). - 120 S., 7 Taf., 1978. DM 12.-

Heft 17: SNIEHOTTA, M.: Bodenbewegungen von 1945 - 1974  
im Subrosionsbereich des Salzstocks von Benthe  
(SW Hannover). - HOHM, D.: Über Erdfälle am  
nordwestlichen Harzrand zwischen Hahausen und  
Osterode am Harz (Niedersachsen). - NEUSS, P.:  
Zur Biostratigraphie und Fazies der Unterkreide-  
Serien (Hauterivium - Aptium) im Eisenerz-Tagebau  
"Morgenstern" N Goslar (SE Niedersachsen). -  
222 S., 11 Taf., 1979 im Druck

Die angegebenen Preise sind Selbstkostenpreise, daher Rabatt-  
gewährung nicht möglich.

Anfrage und Bezugsmöglichkeiten bei:

Institut für Geologie und Paläontologie  
der Universität Hannover, Callinstraße 30,  
D 3000 Hannover 1.

Mitteilungen aus dem Geologischen Institut  
der Universität Hannover

Redaktion: J.-P. Groetzner

Heft 18

Probleme und Risiken bei der geplanten  
Einlagerung radioaktiver Abfälle  
in einen nordwestdeutschen Salzstock

von  
F. Mauthe

UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK  
HANNOVER  
TECHNISCHE  
INFORMATIONSBIBLIOTHEK

Hannover 1979

Mitt. geol. Inst. Univ. Hannover	ISSN 0440-2812	18	60 Seiten, 5 Abb.	Hannover Sept. 1979
-------------------------------------	----------------	----	-------------------	------------------------

UB/TIB Hannover 89  
113 814 305



R17 356 (18)

UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK  
HANNOVER  
TECHNISCHE  
INFORMATIONSBIBLIOTHEK

12.10.1979	12.10.1979	12.10.1979	12.10.1979	12.10.1979
------------	------------	------------	------------	------------

PROBLEME UND RISIKEN BEI DER GEPLANTEN  
EINLAGERUNG RADIOAKTIVER ABFÄLLE  
IN EINEN NORDWESTDEUTSCHEN SALZSTOCK

(mit 5 Abb.)

von

FRIEDRICH MAUTHE +)

<u>Inhalt</u>	<u>Seite</u>
A. VORBEMERKUNGEN	6
1. Einführung	6
2. Arbeitsunterlagen	7
3. Zusammenfassende Wertung	8
B. ENDLAGERUNGSKONZEPT SALZSTOCK	9
1. Die Option Salzstock	9
2. Eignungskriterien	11
3. Zusammenfassende Wertung	19
C. ERKUNDUNG EINES SALZSTOCKS AUF EIGNUNG ALS ENDLAGER	20
1. Erkundung von Übertage	20
2. Erkundung Untertage	22
3. Zusammenfassende Wertung	22
D. RADIOAKTIVE ABFÄLLE: ART, MENGE, ENDLAGERUNGSZEITRAUM	22
1. Art und Menge der Abfälle	22
2. Zeitraum "Sicherer Abschluß"	25
3. Zusammenfassende Wertung	26

---

+)  
Anschrift des Verfassers:

Dr. F. Mauthe  
Institut für Geologie und Paläontologie  
der Universität Hannover  
Callinstraße 30, 3000 Hannover 1

E. GEFAHREN BEIM EINLAGERUNGSBERGBAU	26
1. Wasserzutritt von außen	27
2. Konvergenz	30
3. Thermische Belastung	33
4. Zusammenfassende Wertung	37
F. ENDLAGERUNG IM SALZSTOCK GORLEBEN	37
1. Standortwahl	37
2. Zur Geologie des Salzstocks Gorleben	39
a. Salinargesteine und ihre Lagerung	42
b. Postsalinare Gesteine und ihre Lagerung	43
c. Aufstiegsgeschichte des Salzstocks	47
3. Zusammenfassende Wertung	48
G. ERGÄNZENDE BEMERKUNGEN	49
1. Tritium-Verpressung	49
2. Zerstörung einer Lagerstätte	51
H. ZUSAMMENFASSUNG UND WERTUNG	52
I. LITERATURVERZEICHNIS	54

- Verzeichnis der Abkürzungen auf der folgenden Seite -

Im Text werden folgende Abkürzungen benutzt:

- BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- DWK - Deutsche Gesellschaft für Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen mbH., Hannover (gemeinsame Tochtergesellschaft der deutschen Elektrizitäts-Versorgungsunternehmen).
- ETG - Entwicklungsgemeinschaft Tieflagerung radioaktiver Abfälle. Gemeinschaftsunternehmen der GSF und der Kernforschungsanlage Karlsruhe.
- GRS - Geschäftsstelle der Reaktor-Sicherheitskommission, Bonn.
- GSF - Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH, München; dazu gehört das Institut für Tief Lagerung (Remlingen, Wolfenbüttel, Clausthal-Zellerfeld), welches das Einlagerungsbergwerk Asse II betreibt. Die GSF wird aus Mitteln des Bundesministeriums für Forschung und Technologie finanziert.
- HAW - High Activity Waste; Hochradioaktive Abfälle.
- LAW - Low Activity Waste; Schwachradioaktive Abfälle.
- MAW - Medium Activity Waste; Mittelradioaktive Abfälle.
- NEZ - Nukleares Entsorgungszentrum;  
auch: Nationales Entsorgungszentrum.
- NLFB - Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover.
- PTB - Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.
- RSK - Reaktor-Sicherheitskommission, Bonn.
- SSK - Strahlenschutz-Kommission, Bonn.
- TP - Teilprojekt; die Planung des NEZ ist in 7 Teilprojekte gegliedert.
- WAA - Wiederaufarbeitungsanlage für abgebrannte Brennelemente.

## A. VORBEMERKUNGEN

### 1. Einführung

Der Niedersächsischen Landesregierung liegt ein Antrag auf Genehmigung eines Integrierten Nuklearen Entsorgungszentrums für die Bundesrepublik Deutschland (NEZ) in Gorleben, Landkreis Lüchow-Dannenberg vor. Das NEZ-Projekt besteht aus einer Anlage zur Lagerung und Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente aus Kernkraftwerken (WAA; Antragsteller: DWK) und einer Schachtanlage für die Endlagerung der radioaktiven Abfälle im Salzstock Gorleben (Antragsteller: PTB).

Außerhalb des atomrechtlichen Genehmigungsverfahrens hat die Niedersächsische Landesregierung 20 internationale ("Gorleben International Review") und 5 deutsche Wissenschaftler beauftragt, als "Kritiker" jeweils zu Teilbereichen der NEZ-Planung Stellung zu nehmen und sich schriftlich zu der Frage zu äußern, ob ein integriertes NEZ "grundsätzlich sicherheitstechnisch realisierbar" ist. In einer sechstägigen Diskussionsveranstaltung ("Rede - Gegenrede"; 28.3. bis 3.4.1979 in Hannover) mit den oben genannten sowie 35 "Gegenkritikern", die das Projekt befürwortend vertraten, wurden Parlament und Landesregierung die Argumente mündlich vorgetragen.

Ministerpräsident Albrecht lehnte in der Regierungserklärung vom 16.5.1979 das Gesamtprojekt in der geplanten Form ab, vor allem, weil "die politischen Voraussetzungen für die Errichtung einer Wiederaufarbeitungsanlage zur Zeit nicht gegeben" seien. Die Opposition im Landtag lehnte das integrierte NEZ ebenfalls ab und begründete dies mit sicherheitstechnischen Bedenken.

Derzeit ist geplant, Langzeit-Zwischenlager einzurichten, den Salzstock Gorleben durch Tiefbohrungen zu erkunden und diesen bei günstigen Bohrergebnissen bergmännisch zu erschließen.

Die Veröffentlichung dieser (nur geringfügig veränderten) Stellungnahme zur Frage der "grundsätzlichen sicherheitstechnischen Realisierbarkeit der Endlagerung radioaktiver Abfälle im Salz" (Themenstellung des Auftraggebers) soll auf Probleme

aufmerksam machen, die mit dieser Entsorgungsmethode verbunden sind und zeigen, welcher Argumentationsformen sich Industrie und Genehmigungsinstanzen im geowissenschaftlichen Bereich bedienen, um ein politisch heikles Projekt durchzusetzen. Daneben soll diese Studie unabhängige Fachkollegen anregen, häufiger als bisher geowissenschaftliche Arbeiten zu Themen zu publizieren, die in der nicht-geologischen Öffentlichkeit kontrovers diskutiert werden.

Der vom Auftraggeber vorgegebene Zeitraum von ca. 7 Wochen zur Erstellung dieser Studie war den mit der Endlagerung verknüpften Problemen nicht angemessen. Die termingerechte Fertigstellung war nur möglich, weil Fachkollegen aus dem Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Hannover tatkräftig halfen, Literatur zu beschaffen und auszuwerten.

J.-P. GROETZNER, K. GÜNTHER, D. HOHM und J. MUTTERLOSE gilt mein herzlicher Dank für ihre Arbeit, ihre Diskussionsbereitschaft und ihr Engagement.

## 2. Arbeitsunterlagen

Die Stellungnahme befaßt sich vor allem mit dem etwa 180-seitigen Sicherheitsbericht der DWK, Teilprojekt 6, und mit dem zusammenfassenden DWK-Bericht (1977). Daneben wurden Angaben in Bundestagsdrucksachen, Berichten der Reaktorsicherheitskommission und Strahlenschutzkommission (RSK und SSK; GRS, 1978) zum Endlagerungskonzept ausgewertet.

Als weitere Literatur aus Industrie und aus betroffenen Instituten wurden Publikationen aus dem Institut für Tieflagerung der GSF (z.B. ALBRECHT & PERZL, 1978; KÜHN, 1976; PROSKE, 1978) und der PTB (z.B. WOSNIK, 1978) benutzt und geologische Themen ansprechende Aufsätze in Periodica wie Atomwirtschaft/Atomtechnik (z.B. SCHÜLLER, 1978; VENZLAFF, 1978) sowie einzelne Vortragstexte von Tagungen der Energieindustrie (z.B. SALANDER, 1977; HOFRICHTER, 1977) herangezogen.

Die deutsche geologische Fachliteratur befaßt sich kaum mit Fragen der Endlagerung (z.B. Hofrichter, 1978), umsomehr

indessen in Übersichtsarbeiten mit grundsätzlichen Themen wie Halokinese (z.B. TRUSHEIM, 1957, 1960; JARITZ, 1972, 1973), Salinarstratigraphie (z.B. RICHTER-BERNBURG, 1955) und lagerstättenkundlichen Aspekten des Salinars (z.B. FULDA, 1938; RICHTER-BERNBURG, 1968; LOTZE, 1938, 1957). Zur Regionalen Geologie des Standortes Gorleben liegt fast keine Spezialliteratur vor (s. S.39f); über die Fortsetzung der Salinarstruktur auf DDR-Gebiet ist mehr bekannt (z.B. HURTIG, 1965; MEINHOLD & REINHARDT, 1967).

In den USA ist die - auch geologiebezogene - Literatur über Endlagerungskonzepte und -probleme sehr umfangreich (z.B. BREDEHOEFT u.a., 1978; US-Senat, 1978; SANDIA-Studie, 1978). Ähnliches gilt für umfassende auf Granit bezogene Untersuchungen in Schweden (KBS-Reports, 1977, 1978). Weniger umfangreich sind Veröffentlichungen aus Frankreich (z.B. DE MARSILY u.a., 1977) und der Schweiz (z.B. BÜRGISSER u.a., 1979).

Zu erwähnen bleibt noch Literatur zur Salzbergbaukunde (SEIDL, 1921; SPACKELER, 1950; GIMM, 1968) und zur Gebirgsmechanik im Salinar (DREYER, 1974; BAAR, 1977). Vor allem erstere gibt Auskunft über die alltäglichen und die unerwarteten Probleme vor Ort.

### 3. Zusammenfassende Wertung

Die Frage nach der "grundsätzlichen sicherheitstechnischen Realisierbarkeit", die mit der Auftragserteilung zu dieser Studie verknüpft war, ist eine akademische Frage, die in ihrem Grundsätzlichkeitsanspruch nicht zu dem geplanten Projekt paßt. Zur Beschlußfassung lag ein konkretes NEZ-Konzept vor, innerhalb dessen Planungs- und Bauzeiten, Verfahren, Kosten und nicht zuletzt der Sachzwang "Vorhandensein großer Mengen abgebrannter Brennelemente" die Hauptrolle spielen.

Die eigentlichen Fragen lauten:

1. Sind Salzgesteine geeignete Endlagerungsmedien?
2. Verfügen die Antragsteller über Kenntnisse, Fähigkeiten

und Erfahrungen, welche es ausschließen, daß für das Leben auf der Erde jetzt oder künftig Gefahren von den eingelagerten Materialien ausgehen?

Die von der DWK vorgelegten Berichte sind im geologischen Teil äußerst unergiebig. Der Sicherheitsbericht für das TP 6 ist lediglich reich an Absichtserklärungen zur Sicherheit; er ist unverantwortlich kurz bei der Behandlung des naturgegebenen Endlagers, unverständlich langatmig bei der Beschreibung alltäglicher technischer Vorgänge während der Endlagerung. Der Sicherheitsbericht läßt nicht den Schluß zu, daß der Antragsteller mit dem komplizierten Naturgebilde Salzstock, welches in keiner DIN-Norm fassbar ist, umzugehen versteht.

## B. ENDLAGERUNGSKONZEPT SALZSTOCK

### 1. Die Option Salzstock

Als Anfang der 70er Jahre die Frage nach dem Verbleib von Abfallprodukten aus Kernenergieanlagen erstmals öffentlich diskutiert wurde, gab es mehrere Vorschläge zur Fernhaltung der Abfälle vom menschlichen Lebensraum (Ozeane; Weltraum; Mond; Inlandeis; tiefer Untergrund). Allen Konzepten gemeinsam ist die Tendenz, diese Substanzen, "die gegenwärtig als vorwiegend nutzlos angesehen werden" (BAUMGÄRTNER, 1978:250), aus dem Blickfeld des Menschen verschwinden zu lassen.

Nachdem sich die meisten Abfallentfernungsvorschläge von vornherein als zu teuer oder zu risikoreich erwiesen hatten, blieb das Konzept der Lagerung im Untergrund. Je nach geologischer Beschaffenheit der Territorien wurden bestimmte Gesteinskörper in Betracht gezogen. Den zuständigen Behörden in der Bundesrepublik wurde bereits 1963 vom damaligen Präsidenten der Bundesanstalt für Bodenforschung empfohlen, "das Hauptaugenmerk auf die Endlagerung in Salzformationen zu richten" (KÜHN, 1976:357). Diese Empfehlung war offenbar sehr wirksam: Asse II wurde ab 1965 zum Versuchsendlager ausgebaut; andere Methoden blieben in diesem Lande außer Betracht und unerforscht.

Während Grubenbaue im flachlagernden Zechsteinsalinar zur Deponierung giftiger Abfälle aus der chemischen Industrie im großen Stil benutzt werden (Kaliwerk Heringen in Herfa-Neurode, Nordhessen; seit 1972 Einlagerung von ca. 40.000 t/Jahr aus Europa und USA), sind für die Endlagerung langlebiger radioaktiven Mülls Diapire vorgesehen.

Diese Wahl erscheint zunächst aus folgenden Gründen verständlich:

1. Salzstöcke befinden sich in Gebieten mit primär höheren Salinararmächtigkeiten.
2. In Salzstöcken sind die für die Endlagerung als geeignet angesehenen Steinsalzsichten tektonisch zu erhöhten Mächtigkeiten angestaut.
3. Salzstöcke haben aufgrund ihrer Form ein günstiges Verhältnis von Volumen zu Oberfläche.
4. Intensive Interndeformation vor allem der chloridischen Schichten läßt Salzstöcke gegenüber flachlagernden Salinaren als gleichsam isotrope geologische Körper erscheinen.

Mit diesen Vorteilen gehen aber auch Nachteile einher:

1. Salzstöcke sind grundsätzlich labile Gesteinskörper, die ihre Entstehung dem Dichteunterschied gegenüber jüngeren Sedimentgesteinen verdanken. Der labile Zustand ist grundsätzlich erst dann aufgehoben, wenn das Salinar extrudiert ist.
2. In Salzstöcken treten Gesteine, die für den Bergbau und für die geplante Endlagerung problematisch bzw. ungeeignet sind (Ton, Anhydrit, Carnallitit) zusammen mit den als geeignet angesehenen Steinsalzen auf. Unterschiedliche Fließfähigkeit der Schichten verursacht disharmonische tektonische Formung.

Bergbautechnisch wirken sich einige der genannten Befunde bei der Gewinnung von Salzen positiv aus: tektonische Mächtigkeitserhöhung wertvoller Mineralgemenge zu abbauwürdigen Lagern, Anstehen der Gesteine in einer für den Bergbau erreichbaren Teufenlage und vergleichsweise sehr hohe gebirgsmechanische Stabilität großer Grubenbaue. Aufgrund solcher Befunde läßt sich jedoch nicht entscheiden, ob das Salinar für die Aufnahme und den dauernden Abschluß fremder, in mehrfacher Hinsicht aktiver Materialien geeignet ist, ob (und wie) die

Einlagerung langfristig das Verhalten des Wirtsgesteins beeinflusst, ob die bergtechnischen Erfahrungen aus dem Gewinnungsbergbau Gültigkeit behalten und ob durch technische Maßnahmen unerwartetes Verhalten oder Versagen des Einlagerungsmediums korrigiert werden kann.

Die Gefährlichkeit des aktiven Mülls läßt eine Vorgehensweise nach dem trial-and-error-Prinzip nicht zu. Die Zustimmung zum Projekt 'Endlagerung im Salz' muß sich damit zunächst auf die Überzeugung gründen können, daß die mit der Planung befaßten Personen, Firmen und Institutionen in Argumentation und Tat eine Sorgfalt walten lassen, die über das in der Technik bislang übliche Maß hinausgeht.

## 2. Eignungskriterien

Der DWK-Sicherheitsbericht führt folgende Eignungskriterien für den Salzstock Gorleben an:

- 1) Salzspiegellage weniger als 500 m unter Erdoberfläche
- 2) ausreichende Größe
- 3) "grundsätzliche Eignungsfähigkeit" laut NLfB
- 4) "spezielle Eignung von Salzschichten im Salzstock", feststellbar durch Probebohrungen.

Punkt 1 trifft für den südwestlichen Teil der Struktur Gorleben zu. In Elbnähe taucht die Salzoberfläche allerdings in Teufen über 600 m ab (vgl. S. 40). Punkt 2 befaßt sich mit der formalen Berechnung des benutzbaren Salzstockvolumens zwischen 500 und 1000 m Teufe unter Berücksichtigung eines 200-m-Abstandes von den Salzstockflanken (DWK-Sicherheitsbericht 6.1.3.1-1). Über Gesteinsinhalt und Lagerung, die Grundlage jeglicher Berechnung und Einlagerungsüberlegung, ist nichts bekannt (vgl. S.21 und S. 42). - Zu Punkt 3 muß man wohl davon ausgehen, daß den Antragstellern und den genehmigenden Instanzen eine Expertise des NLfB über die "grundsätzliche Eignungsfähigkeit" vorliegt, einschließlich der Angaben, auf welchen Kenntnissen diese Einschätzung beruht. - Zu Punkt 4: Jede Bohrung ist mit Risiken für das Endlagerungs-Grubengebäude verbunden. Ein verfülltes

Bohrloch enthält stets ein Füllmaterial, welches gebirgsmechanisch anders reagiert als das durchteufte Gestein. Damit besteht die Möglichkeit, daß verfüllte Bohrlöcher wasserwegsam werden.

D  
Ausführlichere Angaben zu Eignungsmerkmalen von Salzstöcken finden sich bei Autoren aus DWK (SALANDER, 1977), PTB (WOSNIK, 1978) und GSF (KÜHN, 1976, PROSKE, 1978). Sinngemäß gleichlautend wird von ihnen argumentiert, die bekanntermaßen hoch wasserlöslichen Salzgesteine erwiesen allein schon aufgrund ihrer Existenz in Gestalt von Salzstöcken über erdgeschichtlich lange Zeiträume ihre Stabilität und Unverletzlichkeit. Ergänzt wird diese Aussage von VENZLAFF (1978:338) durch die Frage, ob es nicht "vermessen (sei), wenn der Mensch die Stabilität dieses Salzgebirges anzweifelt, das 100 mal älter ist als seine eigene Art und in dieser langen Zeit Meeresüberflutungen, Erdbeben, Gebirgsbildungen, Vulkanismus und Eiszeiten überstanden hat".

K  
Diese Argumente befassen sich nur randlich mit dem Problem. Niemand erwartet oder behauptet, ein unberührter Salzstock müsse sich bei einem der geschilderten Ereignisse "auflösen" oder sonstwie verschwinden. Träfe obige Argumentation zu, so wäre, was niemand vorzuschlagen wagen würde, z.B. auch das alpine Haselgebirgssalinar (sulfat- und chloridreiche Salztone des Oberen Perm) für den Endlagerungszweck prädestiniert. Diese Gesteine waren selbst in die alpine Deckentektonik einbezogen und haben sie "überstanden". Wichtig für die Fragestellung ist: Andere, gleichaltrige (und auch ältere) Gesteine vergleichbarer Position innerhalb der Erdkruste haben im Lauf der Erdgeschichte weit weniger Substanzverlust durch gesteinszerstörende Vorgänge erlitten als die Salinargesteine. Weiterhin: Die Geologie kennt keinen über lange Zeit mit radioaktiven, thermisch wirksamen Abfällen belasteten Salzstock und sein Verhalten. Und schließlich: Geologen dürfen nicht argumentieren, daß Salzstöcke, welche die genannten spektakulären geologischen Ereignisse überlebt haben, einen dauerhaften Abschluß des strahlenden Mülls von der Biosphäre gewährleisten.

Die Zone, in der Salzstöcke ständig oder episodisch verletzt werden, ist der Salzspiegel, dessen heutige Lage unter Erdoberfläche einen momentanen Zustand kennzeichnet. Zwei gegeneinander wirkende Vorgänge steuern Tiefenlage und Form der Salzstock-Oberfläche: die grundsätzliche Aufstiegtendenz des leichteren Salzkörpers unter bzw. neben schwereren Sedimentgesteinen einerseits und die Auflösung der ins Grundwasserniveau vorstoßenden Salzmassen unterschiedlicher Petrographie und Löslichkeit andererseits. Großflächige, etwa ebene Salzspiegel (z.B. Gorleben) sind Anzeichen für die Lösung großer Salzmassen im Laufe der Aufstiegs Geschichte. Salzige Grundwässer über Salzstöcken beruhen oft auf fort dauernder Lösung am Salzspiegel. Ob die Ursache für heutige Salzlösung auf aktive Aufstiegsbewegung eines Diapirs zurückgeht oder auf - - vielleicht klimabedingte - verstärkte Grundwasserzirkulation, ist bislang nur in wenigen Einzelfällen untersucht (z.B. heutiger Aufstieg Lüneburg; DRESCHER u.a., 1973). Salzstöcke sind, wie andere Gesteinskörper auch, weder unverletzlich, noch sind sie unverletzt.

Ein Eignungsbegriff, der ständig wiederholt in Schriften z.B. der GSF (PROSKE, 1978), PTB (WOSNIK, 1978), Atomwirtschaft (SCHÜLLER, 1978) oder auch im RSK/SSK-Bericht (1978) auftaucht, ist jener der angeblich erwiesenen Existenz der Salzstöcke ohne Veränderung seit ca. 100 Millionen Jahren. Diese Behauptung wird auch auf den Salzstock Gorleben angewandt. Sie trifft weder generell auf die norddeutschen Zechsteindiapire zu noch auf den ausgewählten Salzstock Gorleben-Rambow (s. S. 46). Die Frage nach der Geschwindigkeit von Diapir-Aufstiegsbewegungen wird mit der Feststellung beantwortet, sie betrage während der Durchbruchphase ca. 10 cm in 1000 Jahren (RSK/SSK, 1978:29).

Jeder Salzstock hat seine eigene Aufstiegs Geschichte, machte individuell Zeiten der Ruhe und Epochen starker Vertikalbewegungen durch. Während die Aufstiegs Geschichte aufgrund der Randsenkenanalyse (TRUSHEIM, 1957) für erdgeschichtliche

Fragestellungen meist hinreichend genau rekonstruierbar ist, ist die mit gleicher Methode ermittelte Aufstiegs geschwindigkeit eines aktiven Salzstocks mit Fehlern behaftet, welche vermuten lassen, daß der genannte Wert nicht der Wirklichkeit entspricht: Die nachträgliche Messung des Aufstiegsweges ist fragwürdig, da ein Bezugspunkt fehlt und die Salzpartikel unterschiedliche Wege zurücklegen. Im Falle von Extrusion wird eine Streckenangabe vollends unkalkulierbar. - Die Messung der Aufstiegszeit basiert auf der nicht exakt bestimm baren Dauer einzelner erdgeschichtlicher Epochen ("Malm") oder Teilepochen ("höherer Keuper") und ist nur dann ein für die Geschwindigkeitsberechnung korrekter Wert, wenn Aufstieg und Randsenkfüllung synchrone Vorgänge sind. Sind sie zeitgleich, so ist eine annähernd gleichartige Gesteinsausbildung des Randsenkensediments zu erwarten. Da Randsenkensedimente jedoch deutliche fazielle Differenzierung zeigen können (z.B. sapropelitische Stillwasser-Beckenfazies neben Rotplänern aus gut durchlüftetem flachem Wasser im Unterturon (ERNST & KOCH, 1975:7), Sedimentation also offenbar auch auf vorgeprägtem, durch raschen Salzaufstieg erzeugtem Relief stattfand, ist die generelle Gleichsetzung von Sedimentationszeit und Aufstiegszeit für die Berechnung der wirklichen Aufstiegs geschwindigkeit anzuzweifeln. Es ist nicht geklärt, ob aktiver Salzaufstieg nicht in einer Geschwindigkeit ablaufen kann, die um Größenordnungen über dem genannten Wert liegen. Dafür sprechen Messungen am Salzstock von Lüneburg (1 - 2 mm/Jahr; DRESCHER u.a., 1973:3) und Segeberg (posthumer Aufstieg ca. 2 mm/Jahr; TEICHMÜLLER, 1946:19). Es ist anzunehmen, daß es sich bei dem von der RSK/SSK genannten Wert bestenfalls um eine über erdgeschichtliche Zeiträume gemittelte Durchschnittsgeschwindigkeit handelt, nicht aber um eine verlässliche Angabe, mit welcher Geschwindigkeit Salzstöcke aufzusteigen pflegen und wie die Aufstiegsbewegungen ablaufen, kontinuierlich oder in Phasen.

Die Eignung von Salzstöcken für die Endlagerung soll nach PROSKE (1978:9) dadurch erwiesen sein, daß "in vielen Fällen

die Salzformation von den wasserführenden Schichten des Deckgebirges isoliert sei. In der DWK-Broschüre (1978:17) ist dieser wünschenswerte Zustand kommentarlos in einer Farbskizze (Abb. 1) dargestellt: "Salz" und "Deckgebirgsschichten" sind durch eine mächtige "wasserundurchlässige Schicht" getrennt. Zwar gibt es trockene Salzspiegel, doch die Gefahr einer Reaktivierung von Fließ- und Lösungsvorgängen beim Eingriff durch Bohrungen oder Schachtbau ist groß (GIMM, 1968:273; 285; 448). Ein tief abgelaugter Salzstock wie z.B. der von Gorleben (TRUSHEIM, 1960:1529) läßt einen klüftig-kavernösen, wasser- bzw. solegefüllten Gipshut erwarten. Nicht umsonst ist die Grenze Deckschichten/Salinar der Bereich, der vom schachtabteufenden und schachtabdichtenden Bergmann als Gefahrenzone erster Ordnung anerkannt und gefürchtet ist. B  
K

Als weitere Begründung für die Ansicht, daß die nordwestdeutschen Salzstöcke eine "für alle Zeiten sichere Verwahrung der Abfallprodukte getrennt vom Biozyklus" (HOFRICHTER, 1978:87) ermöglichen, werden u.a. folgende Punkte angeführt:

Undurchlässigkeit für Gase und Flüssigkeiten  
Fehlen von Spalten und Klüften im Steinsalz  
hohe Wärmeleitfähigkeit des Salzes. B

Zum Beweis der Undurchlässigkeit werden von HOFRICHTER (1976, 1978) mißlungene Luft-Abpressversuche im Steinsalz genannt, weiterhin der Einschluß von hochgespannten tertiärzeitlichen CO<sub>2</sub>-Gasen im Salinar Hessens sowie die Feststellung, Kohlenwasserstoffe hätten bei der Migration ins "Speichergestein hinein nie Salzformationen überwunden" (HOFRICHTER, 1978:88). K

Bewiesen erscheinen dem Verfasser diese Annahmen erst dann, wenn eindeutig geklärt ist, wie vulkanogenes Gas (bzw. Kohlen-säurewasser, HERRMANN, 1979) ins Salz hat einwandern können, wie das Eindringen verschiedenartiger Gase, die in allen Salzlagerstättentypen vorkommen (GIMM, 1968:544f) und auch ohne Zusammenhang mit einer Metamorphose durch aszendente, gashal-

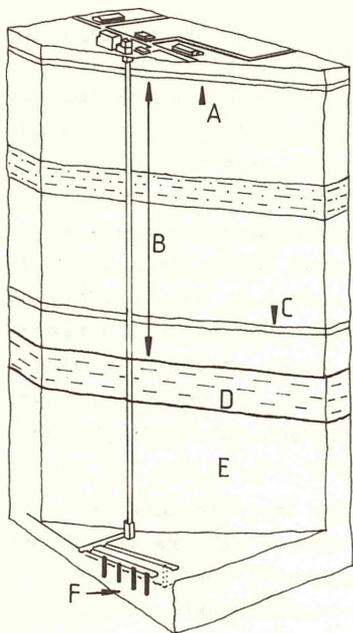


Abb. 1:

"Modell für die Einlagerung  
verglaster hochradioaktiver  
Abfälle."

Text aus DWK (1978:18)

Bild umgezeichnet nach  
DWK (1978:18)

Maßstab: ?

- A: Grundwasserführende  
Schicht
- B: Deckgebirgsschichten
- C: Tiefenwasser
- D: Wasserundurchlässige  
Schicht
- E: Salz
- F: Bohrlöcher für  
Glasblöcke

---

Abb. 2: HYPOTHETISCHE GEOLOGISCHE PROFILSKIZZE

Dargestellt ist die mögliche Lagerung der Salzgesteinsschichten  
in einem Salzstock vom Typ Gorleben und die mögliche Abfolge  
der Deckgebirgsschichten in dieser Region.

Tertiär- und quartärzeitliche Schichten:

- S = Sand (wasserleitend); K = Kies (wasserleitend);
- G = Geschiebemergel (-lehm); Sf = Schluff;
- T = Ton; B = Braunkohle

Zechsteinzeitliche Salinarschichten

- Na 4 = "Jüngstes Steinsalz"; Na 3 = "Jüngeres Steinsalz";
- A = Anhydrit + Salzton; C = Carnallitit;
- Na 2 = "Älteres Steinsalz"

Kontaktbereich zwischen Salzstock und Deckgebirge:

- GH = Gipsstut (Lösungsrückstände)
- Ssp = Salzspiegel (Salzstockoberfläche)

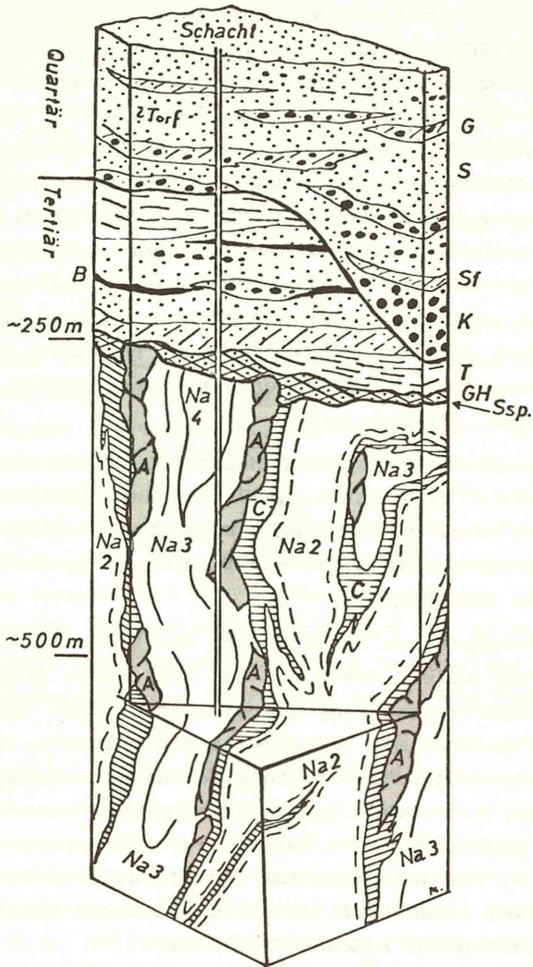


Abb. 2: Erläuterungen s. S. 16

tige Wässer im Salinar auftreten, möglich ist (vgl. auch BRAITSCH, 1961:206 f). Nach MÜLLER (1958:32) durchfließt im Werra-Kalirevier ein schwacher aber ständiger  $\text{CO}_2$ -Strom dem Druckgefälle folgend das Salinargebirge und tritt im Grubengebäude und an der Tagesoberfläche aus, wobei unklar ist, ob das Gas auf Rissen oder auf Intergranularflächen migriert. Die Bergbauliteratur beschreibt (SPACKELER, 1957; GIMM, 1968) Gas-einschlüsse auch im Steinsalz von Diapiren: z.B.  $\text{CH}_4$ -Explosion beim Schachtabteufen in Adolfsglück (Hope); z.B. Gasausbruch in der Schachtanlage Wendland (Wustrow) mit einer Zusammensetzung, "die fast der atmosphärischen Luft" entsprach (SPACKELER, 1957:318): Wie und wann wanderten diese Gase in bzw. durch das "undurchlässige" Salzgebirge?

Auch das Auftreten von hochgespanntem "flüssigem Erdöl im festen Steinsalz" (SPACKELER, 1957:323) auf Klüften in der Schachtanlage Adolfsglück (Hope), Desdemona und Frischglück (Leinetal) sowie Wendland (Wustrow) muß auf Migration im Salz zurückgeführt werden.

Die Durchlässigkeit schließlich auch des Steinsalzes für wässrige Lösungen muß allein schon aus den keineswegs abschließend geklärten Diagenesevorgängen geschlossen werden: Umkristallisation, Augenbildung mit Flüssigkeitseinschlüssen, Kristallsalzentstehung, sekundäre Kristallisation innerhalb von Spaltenhohlräumen, wie auch z.B. Umbildungen oder Vertaubungen innerhalb der carnallitischen Kalisalzlager in großer Tiefe und im Hutbereich, die wohl kaum auf Wässer zurückzuführen sind, deren Wanderweg ausschließlich auf diese Lager beschränkt sind. ("Lösungsmetamorphose"; HERRMANN, 1978).

Im Zusammenhang mit der postulierten Undurchlässigkeit von Salzgestein wird häufig auf die Plastizität des Salinars hingewiesen und auf seine Fähigkeit, eventuell entstehende Spalten oder Klüfte selbsttätig zu schließen (z.B. DWK, 1978). Abgesehen vom klüftigen Anhydrit mag dies für die vom Bergbau normalerweise berührten Salzstockteile zutreffen, doch kommen zumindest in Salzspiegel- und Flankennähe Risse auch im Steinsalz

vor: Schacht Ilsenburg (Wustrow) wurde bei 244 m Teufe aufgegeben, nachdem Gipshutsole durch eine Kluft im Steinsalz bei 221 m Teufe einbrach und den Schachtstumpf schlagartig füllte (SPACKELER, 1957:368). Auf der Schachtanlage Friedrich Franz (Lübtheen) wurde in 508 m Teufe, ca. 250 m unter dem Salzspiegel, in steilstehenden Kulissenfalten zwischen Carnallitit und Steinsalz eine offene Kluft von 50 cm Breite angetroffen, die 12 m im Streichen und 20 m im Einfallen verfolgbar war (NETTEKOVEN, 1905, zit. in LOTZE, 1938:551).

Ein indirekter Hinweis auf Klüfte in tieferen Flankenzone von Salzstöcken läßt sich aus dem Auftreten von Gangbasalt im Salzstock Broistedt bei Braunschweig ableiten (DORN, 1957). In Analogie zu den überwiegend tektonischen Vorzeichnungen folgenden Basaltgängen im flachlagernden Salinar Thüringens und Hessens (HOPPE, 1960; W. MÜLLER, 1958) dürfte sich der genannte Basalt im Diapir auf der Flankenfläche aufwärts bewegt haben, hätten sich ihm nicht Klüfte im Salinar angeboten. Die scheinbare Abwesenheit von Klüften und Brüchen im Steinsalz kann durchaus ein Fehlschluß sein, der auf zu geringer Beobachtungsmöglichkeit beruht, weil der Bergbau aus gutem Grund die Außenbereiche der Salzstöcke soweit wie möglich meidet.

Salzgestein besitzt nach HOFRICHTER (1978:87) "eine um den Faktor 2 - 3 bessere Wärmeleitfähigkeit als andere Gesteine". Dies trifft aber nur für den Temperaturbereich bis etwa 50°C zu (DELISLE, 1978:789). Bei HAW-Behältertemperaturen um 200°C ist Steinsalz anderen Gesteinen, etwa Granit, in seinem Wärmeleitvermögen nicht überlegen. Dies ist bei Betrachtung möglicher Reaktionen zwischen verglastem Abfall und/oder umhüllendem Metall mit dem im Vergleich zu "anderen Gesteinen" sehr unbeständigen Steinsalz bei Anwesenheit von wärmeerzeugter oder fremd hinzugetretener Sole wichtig (s. S. 35).

### 3. Zusammenfassende Wertung

Die Existenz von Salzstöcken im Untergrund der Bundesrepublik

## 2. Erkundung Untertage

Üblich ist die geologische Kartierung der Strecken unter Einbeziehung von horizontal und geneigt angesetzten Kernbohrungen. Hochfrequenz-Erkundungsmethoden sind zusätzlich für die Ortung der Raumlage guter Reflektoren (Anhydrit; Ton) geeignet. Allerdings reflektieren sehr geringmächtige Einlagerungen gleichermaßen gut wie mächtige Schichten: eine stratigraphische Einordnung des Reflektors ist nicht immer möglich. Carnallit ist kein guter Reflektor und ohne die stratigraphisch hangenden, tektonisch oft unterdrückten Ton- und Anhydritschichten (RICHTER-BERNBURG, 1968:973f) nicht zu orten.

Die Erkundung des Salinars konzentriert sich für die HAW-Einlagerung auf die Suche nach großen Bereichen reinen Steinsalzes (insbes. Älteres Steinsalz), fern vom temperaturempfindlichen Carnallit (s. S. 36). Eine vollständige Erfassung aller Anstauungen, Spezialfältchen und Lagen dieses fließfähigsten unter den Salinargesteinen ist nur durch viele Bohrungen möglich, zumal dann, wenn der auf Beanspruchung spröde reagierende Graue Salzton und Hauptanhydrit als Reflektor ausfallen.

## 3. Zusammenfassende Wertung

Der Benennung eines Salzstocks muß die Erkundung vorausgehen. Auch sorgfältig durchgeführte Erschließungsarbeiten verletzen den Salzstock und machen ihn anfällig für den Eintritt von Wasser.

## D. RADIOAKTIVE ABFÄLLE: ART, MENGE, ENDLAGERUNGSZEITRAUM

### 1. Art und Menge der Abfälle

Die in der geplanten WAA (Jahresdurchsatz: 1400 t abgebrannte Brennelemente) anfallenden festen, flüssigen und gasförmigen radioaktiven Abfälle (vgl. BAUMGÄRTNER, 1978) stellen insgesamt ein sehr heterogenes Gemenge von Spalt- und Anlagerungsisotopen unterschiedlicher Halbwertszeiten und Strahlungsarten dar. Üblich ist die Klassifizierung der Müllsorten nach der Konzen-

tration der Radionuklide, also nach der Anzahl zerfallender Isotope pro Zeit und Volumen (Dimension: Curie, Ci) in Schwachaktiven (LAW; kleiner als  $0.1 \text{ Ci/m}^3$ ), Mittelaktiven (MAW;  $0,1 - 1000 \text{ Ci/m}^3$ ) und Hochaktiven Müll (HAW;  $1000 - 1 \text{ Mio Ci/m}^3$ ).

LAW kann, in intakten Stahlfässern oder Betonbehältern verschlossen, vergleichsweise gefahrlos gehandhabt werden; MAW-Fässer werden in mächtigen Abschirmbehältern transportiert; HAW besteht überwiegend aus konzentrierten Spaltproduktlösungen aus der WAA, welche eingedampft und in 70 Liter großen Borsilikatglasblöcken mit Stahlmantelung eingeschmolzen werden sollen. Die Spaltproduktkonzentration ist in dem vorgelegten Konzept so hoch, daß an der Behälter-Außenwand Temperaturen bis  $250^\circ\text{C}$  zu erwarten sind.

Spezielle Probleme bereiten die in der WAA anfallenden tritiumhaltigen Wässer (s. S. 48f) und die gasförmigen Isotope, welche soweit als möglich in Filteranlagen aufgefangen werden (z.B. 129J) oder nach Verflüssigung in Stahlbehältern oberirdisch gelagert werden sollen (z.B. 85Kr).

Die Endlagerung von LAW und MAW gilt in den Publikationen der Antragstellerseite (z.B. ALBRECHT & KÜHN, 1976; ALBRECHT & PERZL, 1978; PROSKE, 1978, GSF; 1975) als unproblematisch, weil seit ca. 10 Jahren im "Versuchsendlager" Asse II große Mengen Abfallmaterial ohne bekanntgewordene Kontamination von Personal oder Umwelt eingelagert wurden. Erprobt ist damit der erfolgreiche Umgang mit Fässern. Langzeitwirkungen nach Absaufen der Anlage lassen sich mit diesen Erfahrungen nicht besser vorausberechnen. Mit den bergbautechnischen und hydrogeologischen Problemen in Asse II setzt sich eine Studie der "Asse-Gruppe" kritisch auseinander (JÜRGENS, 1979).

Vorgesehen ist laut DWK-Sicherheitsbericht die jährliche Einlagerung ins Salz von  $60.000 \text{ m}^3$  LAW und MAW, welches 50 % des Abfall-Plutoniums enthalten wird (Mc GRATH, 1974:21), in Kammern. Zu erwarten ist indessen, daß die Fässer, wie in Asse II versuchsweise projiziert (GSF, 1978; ALBRECHT & PERZL, 1978)

von Übertage aus in Kammern abgelassen werden oder die Abfälle behälterlos (BAUMGÄRTNER, 1978) über Rohrleitungen eingebracht werden. Mit derartigen Techniken, die im Sicherheitsbericht nicht angesprochen werden, ändern sich naturgemäß die Parameter für Schätzungen der Auslaugungsraten im Falle der Flutung des Grubengebäudes beträchtlich gegenüber den Ansätzen, die für die 'klassische' Einbettung der Fässer in Steinsalz gelten mögen. Da die genannten Techniken billiger sein dürften als die bisherigen Methoden, besteht die Gefahr, daß sie von den Betreibern eines NEZ auch angewendet und als unproblematisch bezeichnet werden.

Die jährliche Abfallmenge von 60.000 m<sup>3</sup> LAW, MAW und HAW-Containern erfordert (einschließlich der Endlager für verglasten HAW) nach DWK-Sicherheitsbericht (6.1.3.1-2) voraussichtlich ein untertägliches Salzstock-Bruttovolumen von ca. 1 Mio m<sup>3</sup>/Jahr. Dies sind verritzte Salzstockbereiche, die mit denen im Kali-bergbau vergleichbar sind (z.B. Förderung Kaliwerk Siegfried-Giesen 1974: ca. 1 Mio m<sup>3</sup>). Damit kann nicht von einem quasi-intakten Endlagerungs-Salzstock die Rede sein, der nichts gemein habe mit den durch große Hohlräume 'geschwächten' Salzbergbau-Diapiren. Ob die genannten Volumina indessen ausreichen, um auch die kontaminierten Bauteile abgewrackter Kernkraftwerke und Wiederaufbereitungsanlagen aufzunehmen, darf bezweifelt werden. Seit 1977 untersucht die GSF bzw. ETG die Möglichkeiten, in der modern ausgebauten, im Herbst 1976 stillgelegten Malm-Eisenerzgrube der Schachtanlage Konrad (Salzgitter-Bleckenstedt; bundeseigener Peine+Salzgitter-Stahlkonzern) radioaktiv kontaminierte Großbauteile, z.B. aus stillgelegten Kernkraftwerken, einzulagern.

Die WAA ist für den jährlichen Durchsatz von 1400 t Brennelementen konzipiert. Das entspricht nach GASTEIGER & HÖHLEIN (1975:350), BOKELUND u.a. (1976:352), einer installierten Kernkraftwerksleistung von etwa 50.000 MWe, dem Wert also, der dem überholten Energieprogramm der Bundesregierung (1973; Prognose für 1985) entspricht. An verglasten HAW-Behältern

sollen pro Jahr ca.  $140 \text{ m}^3$  anfallen (DWK-Sicherheitsbericht 6.0-1; HOFRICHTER, 1978:89, nennt 20 -  $30 \text{ m}^3$  pro Jahr: Druckfehler?).

Legt man den von der DWK genannten Gesamtdurchsatz der WAA zugrunde (6.0-1), so ergibt sich eine für 100 Jahre projektierte Einlagerungsperiode, bei Stilllegung der Grube also eine Fracht von ca.  $14.000 \text{ m}^3$  wärmeentwickelnden hochaktiven Abfalls. Dies entspricht, dicht gepackt, etwa dem Volumen einer Bergwerksstrecke (3 x 4,5 m) von 1 km Länge. In der Praxis wird der thermisch belastete Salzstockbereich jedoch um ein Vielfaches größer sein: vorgesehen ist die Einlagerung der HAW-Kanister in Bohrlöchern (Kaliber 30 cm) von 40 m Länge, deren Abstände noch empirisch und durch Modellberechnungen der Wärmeausbreitung zu ermitteln sind.

## 2. Der Zeitraum "Sicherer Abschluß von der Biosphäre"

Über die Zeitspanne, innerhalb der ein sicherer Abschluß der eingelagerten Abfälle gewährleistet sein sollte, werden sehr unterschiedliche Angaben gemacht. Teils werden 5 - 600 Jahre (Abklingzeit beta- und gamma-Aktivität) genannt, teils 700 Jahre (DWK-Sicherheitsbericht, 6.6-3) bzw. 1000 Jahre (WOSNIK, 1978:47), nach denen das Aktivitätsinventar der einer Uranerz-lagerstätte entspräche, teils ca. 2300 Jahre (SCHÜLLER, 1978) für die ein "sicherer Einschluß radioaktiver Abfälle im Salzstock von Gorleben gewährleistet sein muß" bis hin zu der Forderung bei BREDEHOEFT u.a. (1978:9), die je nach Langlebigkeit der Einzelnuclide einen Zeitraum von einigen hundert bis einigen Millionen Jahren fordern. Autoren und Institutionen außerhalb der Endlagerungsindustrie tendieren zu einem Zeitraum notwendiger völliger Isolierung des HAW von 100.000 Jahren (ausführlich bei BURGISSER u.a., 1979:19).

Unsicherheit dokumentiert sich in diesen Zahlen, die aus einem Fachgebiet stammen, welches den exakten Naturwissenschaften zugerechnet wird. Die Anforderungen an das Endlagerungsmedium ändern sich nicht erheblich, ob man nun 1000 oder 1 Mio Jahre

als angemessenen Zeitraum ansieht. Es sind in jedem Falle Zeiträume, für die menschheitsgeschichtliche Voraussagen unsinnig sind. Auch die Geologie ist als weitgehend beschreibende Wissenschaft nicht in der Lage, trotz dieser geologisch relativ kurzen Zeiten erdgeschichtliche Prognosen zu stellen, auf die man sich verlassen könnte.

### 3. Zusammenfassende Wertung

Den schwach- und mittelaktiven Abfällen wird m.E. zu wenig Aufmerksamkeit gewidmet. Kenntnisse über Auslaugungsraten dieser massenweise anfallenden Materialien fehlen. Die im Verlauf der Einlagerung berührten Salzstockbereiche sind in ihrer Ausdehnung vergleichbar mit Bergbaufeldern in Gewinnungsbergwerken. Für menschliche Begriffe ist jeder der genannten Zeiträume, für den gesicherter Abschluß von der Biosphäre gewährleistet sein muß, ewig.

### E. GEFAHREN BEIM EINLAGERUNGSBERGBAU

Wasser ist das Transportmedium, welches die eingelagerten Radionuklide mit der Biosphäre in Kontakt bringen kann.

Wasser kann durch natürlich vorhandene Wegsamkeiten (z.B. Klüfte im Hauptanhydrit) in das Grubengebäude eindringen, vergrößert durch Lösung selbsttätig die Fließwege, kann aufgrund unterschiedlich hoher Löslichkeit von Salzen unvorherberechenbare Hohlräume schaffen (z.B. im Carnallitit), die gebirgsmechanische Instabilität erzeugen.

Wasser kann durch künstlich angelegte Wegsamkeiten eindringen (Schächte; Bohrungen). Auch durch künstlich ausgelöste Salzstock-interne Bewegungen (Konvergenz) kann Wasserwegsamkeit in oder an spröde reagierenden Gesteinskörpern entstehen, evtl. auch im Randbereich des Diapirs (Grundwasser; Formationswässer), welcher den Konvergenzbewegungen folgen muß.

Wasser kann innerhalb des Salzgebirges durch künstliche Entwässerung von hydratischen Mineralen (Carnallit-Aufheizung

durch HAW) entstehen und durch Lösung Hohlräume erzeugen, welche unvorhersehbare Konvergenzbewegungen auslösen.

Wasser bzw. wässrige Lösungen werden durch Aufheizung zur Migration im Salinar angeregt. Lauge kann so in Kontakt mit den HAW-Behältern treten, diese korrodieren und mit dem Inhalt unter hydrothermalen Bedingungen reagieren.

Lauge kann in einem abgesoffenen Grubengebäude aufgrund von Konvektionsströmungen gelöste Radionuklide in den Bereich des Grundwassers transportieren.

Eine den Gefährdungsmöglichkeiten angemessene planerische Sorgfalt setzt voraus, daß Kenntnisse vorliegen, welche die komplizierten Zusammenhänge zwischen Gebirgsbewegung, Wasserwegsamkeit, Aufheizung und Laugenmigration, Lösungsvorgängen und Grubenstabilität verständlich und kalkulierbar machen.

Die folgenden Beschreibungen und Überlegungen sollen zur Klärung der Frage beitragen, ob diese Kenntnisse vorliegen.

#### 1. Wasserzutritt von außen

Trotz der Behauptungen von ALBRECHT & KÜHN (1967:1), daß "Salzformationen ... in Form von Diapiren einen absolut sicheren hydrologischen Abschluß garantieren", bleibt im deutschen Zechsteinsalinar der Hauptanhydrit der wichtigste potentielle natürliche Wasserleiter vom Salzspiegel in die Grube. Diesem Gestein verdanken viele Salzbergwerke ihr vorzeitiges Ende durch Absaufen, zuletzt Ronnenberg 1975 (HOFRICHTER, 1978:90). Die oft durch Carnallit verheilten Klüfte im spröden Hauptanhydrit öffnen sich beim Durchfahren unter Tage und können, wenn der Gesteinskörper mit dem Salzspiegel in Kontakt steht, Wasser einleiten (RICHTER-BERNBURG, 1968:1038). Ungünstig wirkt sich die stratigraphische Nachbarschaft zum Staßfurt-Carnallitit aus. Einmal ins Fließen geratenes Wasser auf Anhydritklüften hat leichten Zugang zu diesem Gestein höchster Löslichkeit (vgl. HOFFMANN & EMONS, 1969).

Künstlich erzeugte Wegsamkeit kann über Bohrungen (s. S. 20)

und vor allem im Schacht entstehen. Durch das Abteufen wird das Steinsalz sehr starken Temperaturschwankungen ausgesetzt und zermürbt. Tiefkälteverfahren ( $-45^{\circ}\text{C}$ ) bis ins Steinsalz hinein, Auftauen und Einbringen der  $120 - 130^{\circ}$  heißen Bitumenmasse zwischen Stoßbeton und Stahlmantel (DKW-Sicherheitsbericht 6.2.4.1-3 und 6.5.2.2-1: wodurch "jeglicher Wassereinbruch von außen ausgeschlossen wird"), später dann schwankende Temperaturen einziehender Wetter und im ausziehenden Schacht gegenüber dem Gebirge erhöhte Wettertemperatur sind thermische Belastungen, die eine Zerrüttung des verzahnten Steinsalzgefüges, evtl. auch Kontraktions- bzw. Dehnungsrisse und damit Wasserwegsamkeit erwarten lassen.

Die Absicht, Anhydrit und Carnallitlager nach Möglichkeit im Endlagerungsbergwerk nicht zu durchfahren, ist von vornherein nicht realisierbar, wenn die Schächte im Jüngeren Steinsalz stehen, was als beste Lösung angesehen wird. Die Vorstellung, daß große Streckenabschnitte dem Streichen reiner Steinsalzpakete folgen, daß Laugenbewegung aufgrund von Konvektion mit Hilfe "entsprechender Auslegung des Grubengebäudes" (GRS, 1978:TP6Nr.9) vermieden werden soll und möglicherweise siphonförmige Streckenabschnitte in der Nähe von Endlagerungsfeldern das Eindringen von Lauge in diese verhindern sollen, läßt Streckenführungen erwarten, die einer Achterbahn nicht unähnlich sehen.

Das Abdichten von laugeführendem Anhydrit (Verpressung) und der Streckenausbau im Carnallit ist zwar 'Stand der Technik' jedoch weit davon entfernt, in der Praxis vollkommen wirksam zu sein. Die Auflage der GRS (1978: TP6Nr.5), zu Beginn der Auffahrung (!) die Abdichtungstechniken "auf weitere Verbesserungen hin zu überprüfen", gibt keine Sicherheit gegen das Eindringen von Wasser.

Angenommen, es sei möglich, die zu erwartenden "thermisch bedingten Konvektionsströmungen" (HOFRICHTER, 1978:89) durch Streckenführung zu unterdrücken, weiter angenommen, es sei möglich, den abgesoffenen Schacht im Nassen zu verfüllen

(vgl. hierzu die entsprechenden mißglückten Versuche in Vienenburg; SPACKELER, 1950:368), so bleibt dennoch die Gefahr, daß kontaminierte Lauge aufgrund des Zusammenbruchs des Grubengebäudes durch Schachtröhren und durch Wegsamkeiten im Salzspiegelbereich herausgepreßt wird. So brach z.B. das 1921 durch eine Hochbohrung in den Kainithut abgesoffene Grubengebäude des Kaliwerkes Hedwigsburg bei Wolfenbüttel 15 Jahre später zusammen. "Dabei bildeten sich ... noch in weiterer Umgebung des Schachtes cm-breite Spalten an der Tagesoberfläche aus, durch die ... Sole hochgepreßt wurde, die das ... Gelände der Umgebung cm-hoch überflutete" (FLAKE u.a., 1975:81f).

Der DWK-Sicherheitsbericht (6.5.2.2-1), welcher Wasserzutritt nur bei mechanischer Zerstörung des Schachtes für möglich hält, beschreibt als geplante Abhilfe das in 1 bis 1,5 Jahren durchführbare erneute Gefrieren des Schachtbereichs, Reparatur des Ausbaus und Sumpfen der Grube so, als sei dies ein alltäglicher Vorgang und als würden die eintretenden Wässer kein Salz auflösen, als wäre ein Einsturztrichter am Schacht undenkbar, kurz, als wären alle die mit dem Absaufen verbundenen, oft beschriebenen Ereignisse (SEIDL, 1921; FULDA, 1938; LOTZE, 1938; SPACKELER, 1950; BAUMERT, 1955; LOOK, 1960; GIMM, 1968; HOFFMANN, 1972; FLAKE u.a., 1975) nicht eingetreten.

Den Autoren solcher Sicherheitsberichte seien insbesondere die Schilderungen über Veränderungen an der Erdoberfläche beim Wassereinbruch zur Pflichtlektüre empfohlen, ehe sie, wie beim NEZ Gorleben geschehen, eine Wiederaufarbeitungs-Fabrikanlage dieser Größenordnung und mit dem bekannten delikaten Inhalt auf einem bei Bergbaumaßnahmen stets wassergefährdeten Salzstock planen. Gleichfalls sei ihnen empfohlen, sich die mißglückten Hilfsmaßnahmen, die sich überstürzenden Ereignisse und die übertägigen, nicht auf die nähere Umgebung des Schachtes beschränkten Schäden beim Absaufen von Ronnenberg vor 4 Jahren zu vergegenwärtigen.

Eine 2-300 m mächtige Salinarschwebe soll nach HOFRICHTER (1973:1f) ausreichen, um bei einer abgesoffenen Schachtanlage keine Einbrüche und Senkungen befürchten zu müssen. Diese Einschätzung dürfte aus Erfahrungen mit abgesoffenen Grubenbauen,

die eine geringermächtige Schwebe haben, extrapoliert sein. Sie basiert aber m.W. nicht auf Erfahrungen mit abgesoffenen Gruben, die eine derartig mächtige Salzswebe aufweisen und berücksichtigt nicht, daß Absenkungen an der Erdoberfläche auch aufgrund von unterirdischem Lockersedimenttransport durch einströmendes Wasser entstehen können (vgl. Ronnenberg).

Die Frage, ob derartige prognostische, gefühlsmäßig durchaus nachvollziehbare Einschätzungen über das Verhalten von Gesteinen richtig sind und als Faktum in die Planung einer Enddeponie (DWK-Sicherheitsbericht 6.1.3.1-1: ca. 200 m Schwebe) einbezogen werden dürfen, ist zu verneinen. Geologen würden wohl kaum z.B. die aus dem Sollinggebiet beschriebenen (GRIMM & LEPPER, 1973:1,3) Erdfälle, welche 750 - 1000 m mächtige, flachlagernde Buntsandsteinschichten durchschlugen, für möglich gehalten oder gar prognostiziert haben.

## 2. Konvergenz

Die Reaktion der chloridischen Salze auf künstlich angelegte Hohlräume besteht in einer Kriechbewegung, welche den entstandenen Spannungszustand in der Umgebung des Hohlraumes abbaut. Diese Konvergenzbewegung führt offenbar nicht zu einer Lockerung des Granulargefüges, sondern muß eine Bewegung sein, die den gesamten Salzkörper betrifft. An Grenzflächen zwischen chloridischen Gesteinen unterschiedlicher Plastizität sowie zwischen plastischer und spröder (Anhydrit; Ton) reagierenden Gesteinen müssen demnach Kräfte wirksam sein, die ein kluftartiges Aufreißen möglich machen (vgl. S. 19; Spalte an der Grenze Steinsalz/Carnallitit). Ähnliche Phänomene sind auch an der Grenze des gesamten Salzkörpers zum Nebengebirge zu erwarten, wenn sich das allseitig auf die Hohlräume hin gerichtete Kriechen bis zur Diapirflanke hin auswirkt. Die DKW (Sicherheitsbericht 6.5.2.2-1) weiß allerdings, daß "keine Gebirgsbewegungen von Bedeutung angeregt werden". Es wird nicht mitgeteilt, auf welche Kenntnisse sich diese Vermutung stützt.

Mit der Konvergenzerscheinung sind mehrere Gefährdungsmöglichkeiten verbunden:

- a) Spalten können Gipshutlauge oder auch Formationswässern bzw. Erdöl/Erdgas Zutritt verschaffen.
- b) Konvergenz kann unter dem Einfluß benachbarter Hohlräume eine gerichtete Kriechbewegung sein, die scherende Beanspruchung z.B. auf die HAW-Behälter ausübt und diese samt verglastem (unter Wärmeeinwirkung entglastem, grusig gewordenem?) Inhalt zerstört, zumal das Kriechvermögen in Nähe der aufheizenden Behälter stark erhöht ist.
- c) Einlagerungskammern können zu Bruch gehen und die Container, Fässer etc. zerstören und auslaugungsanfälliger machen.

Laut DWK-Sicherheitsbericht (6.2.4.1-7) kommt die Konvergenz nach Einlagerung von LAW, MAW und HAW-Containern sowie zwischen geschüttetem, verfüllendem Salz zur Ruhe. Auf welche Kenntnisse stützt sich diese Ansicht? Wo wurden in verfüllten Abbaukammern Untersuchungen über Gebirgsbewegungen gemacht? Woher will man wissen, daß sich Versatz und anstehendes Gestein gebirgsmechanisch identisch verhalten? - Mit "Beginn der Einlagerungsphase" (!) sollen nach der Empfehlung der RSK/SSK (GRS, 1978:TP6Nr.6) geeignete Verfüllungsmaterialien ausgewählt, Maßnahmen zur Herabsetzung des Porenvolumens untersucht und Verfüllungstechniken optimiert werden. Verhindert dies weitere Konvergenz?

Die Angaben zu Konvergenzerscheinungen sind qualitativ wie quantitativ verwirrend unterschiedlich. Ein Grund hierfür ist die Vielzahl von Parametern, welche diese Kriechbewegung steuern (s. hierzu DREYER, 1974:126ff), so, daß praktisch jedes Grubenfeld unterschiedliches Konvergenzverhalten zeigt.

Bei SPACKELER (1950:88) wird von wechselweise gegenläufig gerichteten, "fluktuierenden" Fließbewegungen der Stöße in einem Querschlag im Älteren Steinsalz berichtet; RICHTER-BERNBURG (1968:1032) gibt Hohlraumverengungen im Steinsalz mit ca. 3-5 % an, wobei sich die Konvergenzrate im Laufe von ca. 2 Jahren kontinuierlich dem Wert 0 nähert. Eine derartige Abnahme der Konvergenzrate mit der Zeit wurde auch in Labor-Druckversuchen ermittelt (DREYER, 1974:63), auf die Verhältnisse unter Tage übertragen und als ein Verfestigungsphänomen gedeutet, welches

auf der gegenseitigen Behinderung von Translationen in den Gittern der am Kriechen beteiligten Kristalle beruhen soll. Andere Autoren bestreiten die Existenz dieser Verfestigungstendenz (strain hardening; s. 4th.Int.Symp.on Salt, Cleveland 1974; ausführlich diskutiert in BAAR, 1977), halten die Versuchsbedingungen für ungeeignet, die Deutung für fehlinterpretiert und für nicht übertragbar auf Untertagebedingungen.

BAAR (1977:3) beschreibt vollständiges Schließen von Abbaukammern im kanadischen Salinar durch Konvergenz innerhalb von 15 Jahren und resümiert (p.75): "does strain hardening occur under normal mining conditions? The answer is definite 'no'".

Auch bei der Solkaverne im Salzdom Eminence (Golfküste, USA), wo nach 1-jähriger Standzeit eine Volumenabnahme um 40 % durch Hebung der Kavernensole um ca. 40 m festzustellen war, sind die gebirgsmechanischen Deutungen widersprüchlich. SERRATA (1973; zit. bei DREYER 1974:138) erklärt die Volumenabnahme mit Konvergenz; DREYER (1974:138) hingegen vermutet nahe dem Kavernenboden eine Steinsalz-Anhydrit-Wechselagerung, welche "hochgepufft" sei. Kontinuumsmechanisch, also durch Konvergenz, seien derartig hohe Bewegungsbeträge nicht deutbar.

Mit diesen beispielhaften, sehr kurz referierten Meinungsverschiedenheiten zwischen zwei Salzgebirgsmechanik-"Schulen" soll darauf hingewiesen werden, daß die Kenntnis über Fließbewegungen im Salinar ausreicht, um Gewinnungsbergwerke zu betreiben. Im Fall der Endlagerung werden aber von dem Fachgebiet Gebirgsmechanik Aussagen höherer Qualität verlangt. Die Gebirgsmechanik soll Prognosen über das Langzeitverhalten des Gebirges unter dem Einfluß erhöhter Temperaturen erstellen. Basieren sollen diese Voraussagen auf "Salzproben" (DKW-Sicherheitsbericht 6.2.4.1-7) aus dem ausersehnen Salzstock, also auf einem vom petrostatischen Druck befreiten Gestein mit gelockertem Gefüge (HOFRICHTER, 1977:78).

Da über die eigentlichen Ursachen des gebirgsmechanischen Verhaltens von Salinargesteinen nur Modellvorstellungen vorliegen, die zudem nicht unwidersprochen sind, darf man aus diesem Fachgebiet keine Prognosen erwarten, die in ihrer Sicherheit den in diesem Falle außergewöhnlichen Anforderungen genügen. Diese Aussage beinhaltet keine Kritik an den Vertretern dieser Wissenschaft, sondern soll davor warnen, von einem deduktiv forschenden geowissenschaftlichen Fach Voraussagen über Vorgänge zu verlangen, die in der bisherigen Entstehungsgeschichte des Gesteins keine Parallelen haben (vgl. KITTS, 1976:45).

### 3. Thermische Belastung

Die von den HAW-Behältern ausgehende thermische und radiologische Belastung hat Einfluß auf das gebirgsmechanische Verhalten der chloridischen Salze, erzeugt Entwässerung hydratischer Minerale und Laugenmigration, bedingt Veränderungen von Kristallstruktur und Gesteinsgefüge und kann zu chemischen Reaktionen zwischen HAW und dem Einlagerungsmedium führen.

Die Kenntnis über diese sich gegenseitig verstärkend beeinflussenden Vorgänge basieren auf ersten Simulationsexperimenten und theoretischen Vorausberechnungen (z.B. BRADSHAW u.a. 1963; GSF, 1977; DELISLE, 1978). Ob Prognosen über die möglichen Auswirkungen mit Hilfe des bisherigen Wissens aufstellbar sind, erscheint für das geplante Endlager fraglich. Versuchsanordnung, verwandte Mengen und Materialauswahl entsprechen (zwangsläufig) nicht den natürlichen Verhältnissen; der in den Geowissenschaften eminent wichtige Faktor Zeit muß unter Veränderungen der anderen Parameter verkürzt werden.

Bei den Modellrechnungen über die Wärmeausbreitung im Salzstock (HOFRICHTER, 1978:88f) wird offenbar von einem homogenen Gestein ausgegangen. Für die Aufnahme des HAW ist das Ältere Steinsalz (Stassfurt-Serie; Zechstein 2) vorgesehen. Im Bergbaubetrieb in Salzstöcken erscheint dieses Gestein

überwiegend homogen: es zerfällt beim Sprengen stückig.

Für den Geologen erscheint dieses wirtschaftlich bislang kaum interessante, mit mehreren 100 m Mächtigkeit aber entscheidend am Aufbau der Salzstöcke beteiligte Gestein meist als graues und 'eintöniges', nach dem Aussehen unter Tage kaum untergliederbares Schichtpaket. Geologische Profil- und Saigerrisse aus Salzstöcken zeigen entsprechend große, ungegliederte, homogen wirkende Bereiche Älteren Steinsalzes neben besser gliederbaren und deshalb stärker deformiert erscheinenden jüngeren Salinarschichten.

Der Eindruck der Homogenität geht verloren, wenn man sich das Gestein insgesamt und im Detail näher ansieht. Im Großen ist eine Dreigliederung in "Anhydrit-, Polyhalit- und Kieserit-region" möglich; dies sind unscharf begrenzte Steinsalz-Schichtpakete mit unterschiedlich hohen Nebenbestand-Anteilen. Im Kleinen sind meist stratigraphisch nicht verwertbare Unterschiede im Schichtungstyp und in Kristallgröße zu beobachten. Insbesondere sind große, zuweilen nach der Kornform schichtparallel eingeregelt und von den schichtanzeigenden, tonig-anhydritischen Flasern durchsetzte Kristalle häufig. Sie sind mit ca. 10 cm Durchmesser etwa 5 bis 6 mal größer als die mittlere Kristallgröße.

Voraussagen über das tatsächliche Verhalten des Steinsalzes in der Umgebung der HAW-Behälter wirken unzutreffend, wenn sie von einem homogenen Gestein ausgehen. Aussagen über die Ausbreitung, auch Überschneidung von Temperaturfeldern müssen neben der lokalen Petrographie auch das spezielle Schichtgefüge (Lagerung) und die Regelung der Kristalle berücksichtigen. Weiterhin müssen die inter- und intragranularen Laugeneinschlüsse einbezogen werden sowie die schwankenden Anteile an Ton, Anhydrit, Kieserit etc.

Wie will man die genannten Daten erfassen und quantitativ ausdrücken?

Wie gehen sie in das laut HOFRICHTER (1978:88) bereits erstellte Rechenprogramm ein?

Inwieweit stimmen die Rechnervoraussagen mit den im TemperaturfeldASSE II gemachten Messungen überein (DKW-Sicherheitsbericht 6.2.4.1-9)?

Sind die Denkansätze, auf denen das Programm basiert und das Programm selbst von nicht mit der Endlagerung befaßten Fachleuten überprüft und für gut befunden worden?

Welches ist die gewählte Unbedenklichkeitsgrenze, bis zu welcher der gesamte Salzstock aufgeheizt werden darf?  
Welches sind die Kriterien der Unbedenklichkeit, und wer legt sie fest?

Solche, vielleicht auf Unwissenheit des Verfassers beruhenden Fragen ergeben sich, wenn man Symposiums-Ergebnisse wie das folgende liest: "...No adequate model now exists to describe fluid flow, energy or chemical species transport, or source kinetics during the time interval of the thermal pulse, namely, the first several hundred years after burial" (Union Carbide Corp., Nuclear Division, Office of Waste Isolation; Symposium 1977; zit. in BREDEHOEFT u.a. 1978:6).

Nach den bisher vorliegenden Beobachtungen sind folgende Ereignisse, einzeln oder kombiniert, in der Nähe der HAW-Behälter zu erwarten bzw. denkbar:

Laugeneinschlüsse im Salz wandern auf die Wärmequelle zu (HOLDOWAY, 1974:306), dringen in den Ringraum (DKW-Sicherheitsbericht 6.2.5.1-7) ein, korrodieren "sicherlich .... schnell" (BREDEHOEFT, 1978:5) die Metallumhüllung. Der möglicherweise bereits in Entglasungsumwandlung befindliche oder durch Kontakt mit Wasser unter Druck dazu angeregte (McCARTHY u.a., 1978:216), evtl. auch durch Konvergenz mechanisch beanspruchte Glaskörper wird angelöst (MORRIS u.a., 1978:215). Reaktionen zwischen Silikaten, Alkalien und Spaltprodukten unter gleichsam hydrothermalen Bedingungen laufen ab und führen zu Mineralneubildungen. In ersten Labor-Experimenten unter den zu erwartenden Endlagerungsbedingungen (200 - 300°C, 300 bar) entstanden (McCARTHY u.a., 1978:217) nach 2 - 4 Wochen Na-Fe-Pyroxene (Akmite) und Uranyl-silikate (Na-Cs-Weeksit) als Reaktionsprodukte von Borsilikatglas, Radionukliden und NaCl-Lösung. Unterschiedliche Laugenzusammensetzung unter realen Bedingungen läßt weitere Mineralneubildungen unbekannter Löslichkeit erwarten.

Findet nur Lösung der Spaltprodukte und der Glasmatrix statt, so ist das geringe Adsorptionsvermögen des Steinsalzes zu berücksichtigen. ANTHONY & CLINE (1974:319f) erwarten ein Abwandern der aufgeheizten, gasförmig-flüssigen Laugentropfchen zurück ins Salz. Ob sie sich in Gesteinen besserer Wegsamkeit zu größeren Mengen kontaminierter Lauge ansammeln

können (BOFFEY, 1975:361), sei dahingestellt.

Der im Gesamtsystem zur Verfügung stehende Wasseranteil kann sich durch thermisch bedingte Carnallitentwässerung (40 % Kristallwasser) beträchtlich vergrößern. Dieses altbekannte Phänomen wird meist in der von Endlagerung handelnden Literatur fehlerhaft beschrieben. HOFRICHTER (1978:89) nennt ca. 100°C als Temperatur, bei der Carnallit Kristallwasser abgibt; KÜHN (1976:359) nennt 110°C, VENZLAFF (1978:337) schreibt von über 110°C. HERRMANN (1979) wies auf diese Fehleinschätzung und die damit verbundenen Konsequenzen für die Temperaturaufnahme-fähigkeit des Gebirges hin. Demnach beginnt die Wasserabgabe unter Atmosphärendruck bei 85° und ist bei 120° beendet. Es bleibt nur zu hoffen, daß die Modellberechnungen an Modellgesteinen es unmöglich machen, daß Temperaturen, welche die Gebirgstemperatur (ca. 45° in 1000 m Teufe) um über ca. 30° überschreiten, in Carnallititzonen auftreten können.

Es sei an dieser Stelle noch einmal an die hohe Mobilität des Carnallitits unter Salzaufstiegsbedingungen erinnert, an die Möglichkeit des unverhofften Auftretens in Spezialmulden innerhalb des Älteren Steinsalzes, an die schwierige Ortung dieses Gesteins mit zerstörungsfreien Methoden und an die Notwendigkeit, die Umgebung des Endlagerfeldes sehr dicht anzubohren. Mit dieser Maßnahme ist dann wieder erhöhte Gefahr durch künstlich erzeugte Wasser- bzw. Laugenwegsamkeit verbunden.

Wie der Presse zu entnehmen war, liegen die Ausführungen von Prof. A.G. HERRMANN ("Geowissenschaftliche Probleme bei der Endlagerung radioaktiver Substanzen in Salzdiapiren Norddeutschlands"; Vortrag im Geolog.-Mineralog. Kolloquium am 17.1.79 Universität Göttingen) der Landesregierung vor. Es sei gestattet, einen wichtigen Gesichtspunkt aus dem Vortrag zu referieren und hervorzuheben:

Es ist nicht möglich, Voraussagen über das mineralogische und damit auch gebirgsmechanische Verhalten eines Gesteins unter thermischer Belastung zu machen, wenn die damit verbundenen Temperaturen höher sind als die, welche während der Gesteinsentstehung und -metamorphose geherrscht haben.

Die Salinargesteine in den norddeutschen Salzstöcken waren höchstens Temperaturen von deutlich unter  $100^{\circ}\text{C}$  ausgesetzt. Bei den einzulagernden HAW-Behältern ist nach dem derzeitigen Konzept mit Temperaturen bis über  $200^{\circ}\text{C}$  zu rechnen.

#### 4. Zusammenfassende Wertung

Die Möglichkeit des Wasserzutritts in den Salzstock beim Einlagerungsbergbau, die Konvergenzbewegung chloridischer Salzgesteine als Reaktion auf künstlich angelegte Hohlräume und die Aufheizung des Einlagerungsmediums durch HAW sind Vorgänge, welche sich gegenseitig verstärkend beeinflussen können. Kein anderer Gesteinskörper vergleichbarer Größe dürfte derart sensibel auf den Einlagerungsvorgang reagieren wie ein Salzstock. Die Reaktionen des Salzgebirges sollen sich in Ausmaßen halten, die weder die Stabilität des Grubengebäudes beeinträchtigen, noch das Verhalten des gesamten Diapirs beeinflussen, noch die Biosphäre gefährden. Dieses Ausmaß, also eine quantitativ faßbare Größe, sollen Geowissenschaftler für lange Zeiträume vorherbestimmen. Unterstellt, sie seien prinzipiell dazu in der Lage, so bleibt fragwürdig, ob sie alle in dem System möglichen Ereignisse und Reaktionen im voraus erkennen und in die Berechnung einbeziehen können.

Die mineralogischen, geologischen und gebirgsmechanischen Kenntnisse über Wesen, Ursachen und Auswirkungen von natürlichen Vorgängen reichen m.E. nicht aus, verlässliche Langzeitprognosen als Voraussetzung für verantwortbare Einlagerungsmaßnahmen aufzustellen.

#### F. ENDLAGERUNG IM SALZSTOCK GORLEBEN

##### 1. Standortwahl

Im Februar 1977 wurde von der Niedersächsischen Landesregierung der Salzstock Gorleben als der geeignetste Endlagerungsstandort benannt (SCHEUTEN, 1978:33). Dieser Salzstock hat mit den anderen, früher in die engere Wahl gezogenen Salz-

diapiren (Wahn, Unterlüß, Lichtenhorst) folgende Gemeinsamkeiten: er ist relativ groß, der Salzspiegel liegt weniger als -400 m unter Erdoberfläche (JARITZ, 1972), Hauptaufstiegszeit war der Zeitraum Oberjura bis Kreide (JARITZ, 1973); Bergbau ist hier bislang nicht umgegangen.

Ministerpräsident und Sozialminister begründeten gegenüber den Medien ihre vorläufige Standortentscheidung mit der "Unverritztheit", der "Jungfräulichkeit" des Gorlebener Salzstocks. Damit stellten sie eine für die Stabilität des Salzkörpers und der anzulegenden Grubenbaue sehr förderliche Eigenschaft heraus, verschwiegen aber, daß mit der notwendigen Erkundung durch Bohrungen, Schächte und Strecken diese Eigenschaft verloren geht. Vom Geologischen Dienst des Landes Niedersachsen (NLfB, Vortrag des Vizepräsidenten am 14.4.77 in Osnabrück) war eine Empfehlung zugunsten des Salzstocks Gorleben nicht ausgesprochen worden.

Im Verlauf des Jahres 1977 kamen auch in der Öffentlichkeit Fragen auf, wie man wohl die "Eignung" eines unbekanntes Salzstocks festgestellt haben wolle. RICHTER-BERNBURG machte im SPIEGEL (Frühjahr 1977), im BILD DER WISSENSCHAFT (12, 1977) und im Kolloquiumsvortrag im Institut für Geologie und Paläontologie der Technischen Universität Hannover (Januar 1978) deutlich, daß Kenntnisse und damit Eignungsaussagen sinnvoll nur über eine bergmännische Erschließung (Schächte, Strecken, Bohrungen unter Tage) zu erlangen sind.

Indessen kam von den politischen Instanzen die Aussage, daß die Standortentscheidung erst dann Gültigkeit erlange, wenn aufgrund von Probebohrungen die Eignung des Salzstocks bewiesen worden sei. Eine solche Beweisführung hätte ein sehr enges Tiefbohraster zur Voraussetzung, würde damit zur Verletzung des Grenzbereichs Gipshut/Salzspiegel an vielen Stellen führen und würde die Sicherheit des späteren Grubengebäudes und damit die "Eignung" in Frage stellen.

Da bislang verbindliche, wissenschaftlich fundierte Eignungskriterien fehlen - bis auf Aussagen wie 'genügend große

Bereiche homogenen (s.S. 34) Steinsalzes' -, ist zu befürchten, daß die Kriterien nach der Auswertung der Untersuchungsergebnisse erstellt werden, eine Methode, welche das Verfahren "zuerst Standortwahl, dann Eignungsprüfung" konsequent fortsetzt.

Ohne der Lösung der Frage "Eignung oder Nichteignung des Salzstocks Gorleben" ein Stückchen näher gekommen zu sein, wurde von der NEZ-Betreibergesellschaft DWK Land gekauft, wurde ein Büro und eine Zeitung im Landkreis installiert und mit dem Umbau der Gorlebener Schule zu einem Informationszentrum begonnen. Die Landkäufe verliefen nicht ganz programmgemäß. Die DWK strebte den Erwerb eines 3 x 4 km großen, 1976 teilweise abgebrannten Waldgeländes auf dem Salzstock zwischen den Orten Gorleben und Trebel an. Trotz eines verlockenden Preisangebots in vierfacher Höhe des ortsüblichen Wertes verkaufte nur ein Teil der Grundbesitzer: der größere zentrale Teil des Geländes ist weiterhin in Privatbesitz.

Im Herbst 1977 erschien eine Beschreibung der geplanten Gesamtanlage (DWK, 1977), wurden auch Schätzungen über die Kosten der WAA publiziert. Beträge zwischen 10 (SALANDER, 1977:7) und 15 Mrd. DM wurden genannt (Zeitungen). Damit würde die Anlage die bisher größte Industrieinvestition der Bundesrepublik darstellen. Die Kosten für das Endlagerbergwerk liegen dagegen bei vergleichsweise bescheidenen 1,5 Mrd. DM (SALANDER, 1977).

Dem Kostenverhältnis entsprechend rückte seitdem die ursprünglich zentrale, weil angeblich standortbestimmende Frage nach der Eignung des Salzstocks in den Hintergrund. Anders ist nicht verständlich, daß zunächst von der DWK Baugrund-Untersuchungsbohrungen (100 m) abgeteuft wurden; z.Zt. führt die PTB ein hydrogeologisches Bohrprogramm (250 m) durch.

## 2. Zur Geologie des Salzstocks Gorleben

Die Region ist geologisch weitgehend unerforscht. An Publikationen existieren 2 veraltete Geologische Karten der

TK 25.000 (Blatt Lenzen, 1905 und Schnackenburg, 1911), eine Übersichtskartierung 1:200.000 (Bl. CC 3126 Hamburg-Ost) mit Lage der maximalen Salzstockausdehnung sowie 2 weitgehend identische seismische Profile durch das Salzstockgebiet (TRUSHEIM, 1957; 1960; s. Abb. 3). Damit sind Informationen über die Lage des Salzstocks, über seine ungefähre Form, Größe und Teufenlage des Salzspiegels publiziert und zugänglich.

Angaben über den in der Umgebung von Gorleben bis in die 20er Jahre umgegangenen Kalisalzbergbau in den Salzstöcken von Conow, Lübtheen und Wustrow finden sich vor allem bei SEIDL (1921) und FULDA (1938). Hieraus sind Daten über die im Salzstock Gorleben zu erwartende Salinarfazies zu entnehmen.

Seit der Jahrhundertwende wurden in der Region immer wieder Bohrungen abgeteuft, zunächst auf Kalisalze, in den 60er Jahren auch auf Erdgas (Feld Wustrow). Der Salzstock Gorleben wurde verschiedentlich angebohrt: Bohrung Meetschow (s. Geotekt.K.NW-Dtschl., Bl.50) durchteufte bei 272 m den Salzspiegel, Bohrung Gorleben (loc.cit.), auf der NW-Flanke gelegen, hatte bei 603 m die Tertiärbasis noch nicht erreicht. Bohrung Gorleben Z1 (TRUSHEIM, 1960; JARITZ, 1973) steht ebenfalls in der NW-Flanke und durchteufte mindestens 600 m NW einfallendes Salinar. Außerdem sind Bohrungen bekannt, die zu Beginn des Jahrhunderts auf der östlichen Hälfte des Salzstocks niedergebracht wurden. Bohrung Nordenhall I bei Brünkendorf (= Bohrung im "Salzstock von Brünkendorf, die Steinsalze, Carnallitgestein und Sylvin erbohrte"; LOTZE, 1938:550) erreichte bei 406 m den Gipshut, bei 424 m den Salzspiegel; Bohrung Nordenhall II bei Vietze traf ab 302 m einen etwa 40 m mächtigen Gipshut an und durchteufte Stein- und Kalisalze bis 1035 m; Bohrung Nordenhall III (Talmühle am Elbufer) hatte bis 600 m noch kein Salz erreicht. -

Darüberhinaus sind auf dem Salzstock mindestens 3 weitere Bohrungen abgeteuft worden (ORTLAM & VIERHUFF, 1978: Abb. 5), jedoch ist nicht ersichtlich, ob sie das Salinar erreicht haben.

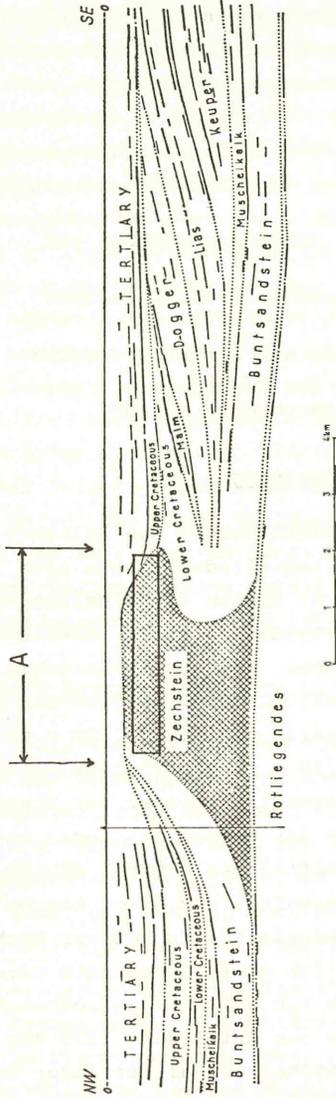


FIG. 13.—Seismic profile through asymmetric salt stock of Gorleben. Primary peripheral sink: Keuper to Malm. Secondary peripheral sink formed during Lower and Upper Cretaceous (at southeastern flank only). Interpretation by D. Sannemann

Abb. 3: Seismisches Profil durch den Salzstock Gorleben,  
aus: TRUSHEIM, 1960:1529

Eingezeichnet der vom Antragsteller angegebene benutzbare  
Bereich zwischen 500 und 1000 m Tiefe.

Strecke A entspricht etwa dem, was in Geol. Übersichts-Karte  
1:200 000 Bl. CC 3126 als "maximale Ausdehnung" des Salzstocks  
(ca. 4 km) eingetragen ist.

Von einer Unberührtheit des Salzstocks und des Salzspiegels kann bei dieser Anzahl von Bohrungen nicht die Rede sein. Aus ihrer Existenz ergeben sich folgende Fragen an Antragsteller und Genehmigungsbehörden:

Gibt es weitere Bohrungen im Salinar von Gorleben?

Auf welche Fakten kann sich die Beantwortung dieser Frage stützen?

Sind die Ansatzpunkte der Bohrungen bekannt und wieder auffindbar?

Sind die Bohrlöcher seinerzeit verfüllt worden? womit?

Können sie aufgewältigt und neu verfüllt werden?

Ist bekannt, ob Bohrungen den Hauptanhydrit oder den Staßfurt-Carnallit durchteuft haben?

#### a. Salinargesteine und ihre Lagerung

Angaben zur Fazies und Gesamtmächtigkeit des Salinars und zur Mächtigkeit einzelner Schichtglieder lassen sich kaum machen. Die Bohrung Gorleben Z1 dürfte ein ziemlich vollständiges, durch partielle Abwanderung etwas reduziertes Zechsteinprofil durchteuft haben. Aus dem NW Gorleben gelegenen Salzstock Lübtheen (SEIDL, 1921:144) ist ein bis etwa 50 m mächtiger Hauptanhydrit und ein ca. 10 m mächtiger Grauer Salzton sowie ein 10 - 20 m mächtiges, stellenweise bis 60 m angestautes Carnallit-Lager der Staßfurtserie bekannt. Möglicherweise ist dieses Kalilager auch durch ein Steinsalz-Zwischenmittel zweigeteilt (FULDA, 1938:58; Abb. 26, Schacht Jessenitz) und durch tektonische Vervielfachung in engen Kulissenfalten zu höherer Mächtigkeit aufgefaltet. - Ungewöhnlich stark angestaute Carnallitmassen fanden sich auch im SW von Gorleben gelegenen Salzstock Wustrow. Dort wurde bis zur Stilllegung 1926 ein steilstehendes, tektonisch verdoppeltes Carnallitlager von 30 - 100 m Mächtigkeit bei 350 m streichender Erstreckung abgebaut (FULDA, 1938:59). In dem kleinen Salzstock Conow ging nur 1911 - 1913 Bergbau um und förderte Hartsalz und Carnallit.

Aus diesen wenigen Hinweisen sei der Schluß erlaubt, daß im Salzstock Gorleben mächtiger Hauptanhydrit und ein mächtiges Carnallititlager zu erwarten ist, beides Gesteine, die auch nach Angaben der Antragsteller nach Möglichkeit von bergmännischen Hohlräumen nicht berührt werden sollen. Die für die Endlagerung vorgesehene Tiefenzone fällt jedoch mit dem Salzstockbereich zusammen, der durch einen über 1 km nach Südosten herausragenden Salzstocküberhang gekennzeichnet ist. Die Endlagerungszone ist damit wahrscheinlich die tektonisch am stärksten beanspruchte des Salzstocks, die zu erwartenden tektonischen Deformationen deshalb voraussichtlich höchst kompliziert. Denkbar sind gerade in dieser Zone gefaltete (oder gar eingerollte) Kulissenfaltenachsen, da dort die primären Aufstiegsstrukturen durch Ausweitungsbe-  
wegungen überprägt worden sein können. Die oft gehörte Faustregel: 'Großer Salzstock bedeutet rel. einfache tektonische Interdeformation' ist nicht verlässlich. Nach PLEIN (1978: Abb.8) liegt der Salzstock am Rande des Verbreitungsgebietes des Rotliegend-Salinars. Eine Beteiligung dieser Gesteine am Aufbau des Gorlebener Salzstocks ist nicht auszuschließen.

#### b. Postsalinare Gesteine und ihre Lagerung

Mesozoische Schichten mit randsenkentypischen Mächtigkeitschwankungen und Diskordanzen, welche Aufstiegsperioden des Salzstocks belegen, sind an dessen Flanken aufgerichtet (s. Abb. 3) und vermutlich auch von Verwerfungen durchsetzt, die allerdings im seismischen Übersichtsprofil nicht dargestellt sind. Die Bohrung Gorleben Z1 dürfte erste Anhaltspunkte über die Fazies der Schichten erbracht haben.

Über die känozoischen Gesteine ist etwas mehr bekannt. Über dem Gipsstufen folgen mächtige Tertiärschichten, wahrscheinlich ab Paleozän im Flankenbereich (Brg. Gorleben; ca. 400 m Tertiär), ab ?Oligozän auf dem Nordostteil des Salzstocks Brg. Nordenhall I; ca. 320 m Tertiär). Es sind oft glaukonitische Sande und Tone, z.T. mit Kohlepartikeln.

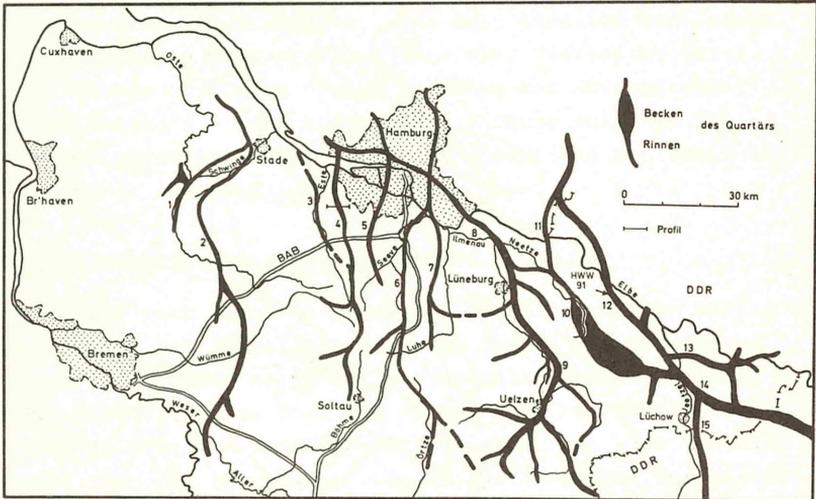
Nach Abb. 3 zeigen die Tertiärschichten Merkmale sekundärer Randsenken; einzelne Reflektoren innerhalb des Tertiärs sind in Richtung Salzstock aufgebogen.

Aus dem Pleistozän sind offenbar mehrere glazigene Schicht-einheiten (Geschiebelehme) und mächtige Glazifluviatilserien vorhanden. Hierbei sind vor allem die "quartären Rinnensysteme" von größtem Interesse.

Unter quartären Rinnen versteht man subglaziär entstandene, mit grobklastischen Schottern gefüllte, langgestreckte, schmale, wasserreiche, unterirdische Kieszüge. Sie sind im Untergrund des Norddeutschen Flachlandes etwa nördlich der Aller verbreitet (vgl. Abb. 4) und wurden wegen ihres Wasserreichtums häufig angebohrt.

Ihre Entstehung ist nicht ganz geklärt, weil die Einordnung dieser Rinnen in ein glaziäres, nach N gerichtetes Entwässerungssystem bei beobachtbaren Rinnentiefen bis -502 m NN und maximal 50° steilen Flanken gedanklich einige Schwierigkeiten bereitet. Teilweise und lokal werden die Rinnenfüllungen als Randsenkensedimente quartärzeitlich aktiver Salzstöcke aufgefaßt (JOHANNSEN, 1971; JOHANNSEN & LÖHNERT, 1971), teilweise mag es sich auch um verstürzte Pleistozänsedimente in Subrosionssenken handeln, gelegentlich kann ein zu weites Bohrraster Rinnen vortäuschen, wo nur eine Erdfallfüllung durchteuft wurde, und schließlich sind Mischformen denkbar, wobei die Anhäufung großer Kieskörper auf mehreren der ange-deuteten Entstehungsvorgängen beruht.

Nach ORTLAM & VIERHUFF (1978:418) quert eine quartärzeitliche Kiesrinne den Salzstock von Gorleben im Gebiet des projektier-ten WAA-Standorts (s. Abb. 5). Ähnliche rinnenförmige Kiesansammlungen liegen auf dem nordöstlichen Salzstockteil und ziehen von dort elbaufwärts und in Richtung der Rambower Struktur weiter (CEPEK, 1967:384). Erstgenannte Rinne ("Laaser Rinne") erreicht Tiefen von mindestens -158 m NN, wahrschein-lich über -250 m NN (ORTLAM & VIERHUFF, 1978:416). Sie ist in Tertiärschichten eingeschnitten und erreicht möglicherweise das Salzspiegelniveau. Das Wasser in den Rinnen dürfte wegen der Tiefenlage gegenüber dem Vorfluter solange stagnieren, bis irgendwo im Rinnensystem (s. Abb. 4) Wasser abgepumpt wird. Dann werden die Rinnen als ideales Drainagesystem aktiviert und können Salzlösung - wie auch evtl. aufgenommene Radio-nuklide - rasch und weit fortführen; damit wird ungesättigten



Lage des Untersuchungsgebietes und Verlauf der quartären Rinnensysteme (Stand Juli 1972), 1 = Bremervörder Rinne, 2 = Verden-Rotenburger Rinne, 3 = Buxtehuder Rinne, 4 = Wintermoorer Rinne, 5 = Vahrendorfer Rinne, 6 = Hanstedter Rinne, 7 = Garlstorfer Rinne, 8 = Adendorfer Rinne, 9 = Uelzener Rinne, 10 = Dahlenburger Rinne und Becken, 11 = Lauenburger Rinne, 12 = Reeßelner Rinne, 13 = Laaser Rinne, 14 = Karwitzer Rinne, 15 = Lütchower Rinne. Lage des Profils von Abb. 4.

Abb. 4: Quartärzeitliche Rinnensysteme.  
Aus: ORTLAM & VIERHUFF (1978:409)



Grundwässern Zutritt auf den Salzspiegel verschafft und der möglicherweise heute herrschende Gleichgewichtszustand am Salzspiegel wird verändert.

Der Gipshut des Salzstocks Gorleben (18 m in Brg. Nordenhall I; 39 m in Brg. Nordenhall II) hat nach VENZLAFF (1978:388) Unterkreidealter. Mit dieser Behauptung soll offenbar ausgedrückt werden, daß seitdem, also seit etwa 100 Mio Jahren, keine Salzlösung mehr stattgefunden hat. Vielleicht übt diese Aussage auf Laien - ganz im Sinne der Antragsteller für das Endlager - eine beruhigende Wirkung aus. Sie ist aber beim derzeitigen Kenntnisstand unbewiesen und somit als geologisches Argument abzulehnen.

#### c) Aufstiegsgeschichte des Salzstocks

Einer flach nach Südosten geneigten Präsalinarfläche auflagernd begann das Zechsteinsalinar im Keuper zu wandern und sich im "Salzkissen Gorleben" anzusammeln. Dieser Vorgang hielt wohl bis in den Oberjura an (s. Abb. 3; JARITZ, 1973: 17;40). Im Zeitraum Malm/Unterkreide (d.h. vor etwa 100 Mio Jahren) fand der Durchbruch und damit die Formung des eigentlichen Salzstocks statt. Dies war zweifellos das mit den stärksten Vertikalbewegungen verbundene Ereignis in der Salzstockgeschichte, doch muß damit die Aufstiegsbewegung nicht abgeschlossen sein. Nach VENZLAFF (1978:388) hat der Diapir seitdem "seine Form nicht mehr wesentlich geändert", eine Aussage, die einerseits geologisch unergiebig ist, andererseits gefährlich, weil die Autoren aus den nicht-geologischen Institutionen daraus die Vorstellung von der "Unveränderlichkeit" des Salzkörpers seit 100 Mio Jahren ableiten und häufig als geologische Aussage publizieren (vgl. S. 13).

Wenn die Profilinterpretation der seismischen Erkundung (Abb. 3) stimmt, so haben im Tertiär eindeutig Aufstiegsbewegungen stattgefunden. Auch für den nordöstlich gelegenen Strukturteil Rambow (REINHARDT, 1967:97) sind tertiärzeitliche Bewegungen nachzuweisen.

Im südwestlichen Strukturteil geben die wenigen publizierten Daten über die regionale Verteilung pleistozäner Sedimente (ORTLAM & VIERHUFF, 1978) bislang keinen Hinweis auf quartärzeitliche Bewegungen. Ein Indiz für junge Subrosion könnte indessen das von GRIMMEL (1978:11;14) erwähnte Weiße Moor südöstlich Gorleben sein. Es liegt isoliert eingesenkt in weitflächig verbreiteten holozänen Dünensanden.

Unstrittig ist wohl der Subrosionscharakter der Rambower Seen auf dem nordöstlichen Strukturteil in der DDR (HURTIG, 1965:45;56). Im Zusammenhang mit den parallel verlaufenden peripheren Aufwölbungszonen aus warthezeitlichem Grundmoränenmaterial ist jungpleistozäne Aufstiegsbewegung zu postulieren. Nach MEINHOLD & REINHARD (1967:346) ist aus der Morphologie sogar auf rezente Bewegung zu schließen.

Nachweisliche Bewegungen von Teilgebieten einer langgestreckten Salinarstruktur wie der von Gorleben-Rambow sind nicht unbedingt auf die Gesamtstruktur übertragbar. Andererseits bedeutet das lokale Abtauchen des Salzspiegels im Gebiet der Elbe nicht, daß beide Strukturteile eine unterschiedliche Aufstiegs Geschichte haben müssen.

Obwohl der Rambower Salzstock in einem Gebiet "vollständig abgewanderten Salinars" (MEINHOLD & REINHARD, 1967:Taf.2) liegt, soll er sich heute noch bewegen. Obwohl der Gorlebener Salzstock am NW-Fuß noch über Restsalze in einem Salzkissen verfügt (JARITZ, 1973:Taf.1) soll er keine Bewegung mehr aufweisen.

### 3. Zusammenfassende Wertung

Die Standortbenennung wurde zunächst mit der "Eignung des Salzstocks Gorleben" begründet. Die Wiederaufbereitungsanlage mit ihrem gegenüber dem Endlager kurzfristig wahrscheinlich höheren Gefahrenpotential gelangte erst später ins öffentliche Bewußtsein. Der unbekannte Salzstock wurde als Sachzwang für die Standortwahl der WAA benutzt.

Die Versicherung, der Gorlebener Salzstock sei unberührt und allein schon deshalb geeignet, trifft nicht zu. Die dort zu erwartende Ausbildung der Salinargesteine läßt nicht auf eine sorgsame Standortvorauswahl nach geologischen Gesichtspunkten schließen. Die Existenz tiefgreifender quartärzeitlicher Rinnensysteme, lange vor der Standortwahl bekannt, erhöht die Wassergefahr für das Grubengebäude beträchtlich und spricht bislang genauso gegen den Standort wie das noch nicht geklärte Aufstiegsverhalten des Diapirs.

Die geologische Erforschung der Gesamtstruktur Gorleben-Rambow und ihres Rahmens ist aus naheliegenden Gründen nicht möglich. Die Beschränkung der Untersuchungen auf nur einen Teil der Struktur und einen Teil der hydrogeologisch betroffenen Region ist für eine sorgfältige Standortauswahl nicht akzeptabel.

#### G. ERGÄNZENDE BEMERKUNGEN

##### 1. Tritium-Verpressung

In dem geplanten "integrierten Entsorgungszentrum" fallen pro Jahr etwa  $4200 \text{ m}^3$  (DKW-Sicherheitsbericht 6.2.7.1.2-1) tritiumhaltiges Wasser an, welches "in isolierte Formationen des tiefen Untergrundes (6.2.7.1-1) versenkt" werden soll. Es ist beabsichtigt, sie in einem  $250 \text{ m}^3$  fassenden Behälter zu sammeln und von Zeit zu Zeit abzupressen. Nach jedem Abpressvorgang werden  $1000 \text{ m}^3$  inaktives Wasser zur Spülung der Pumpen und Gestänge nachgeschickt, sodaß insgesamt schätzungsweise über  $20.000 \text{ m}^3$  pro Jahr verpreßt werden.

Über den für die Aufnahme des Wassers vorgesehenen Horizont wird lediglich mitgeteilt, er liege "unterhalb der tiefsten Grundwasserschicht, Teufen von 300 m sind hierfür üblich" (6.2.7.1-2). Die vorgesehene Pumpenanlage soll  $5 \text{ m}^3/\text{h}$  bei 100 bar leisten. Auf dem Lageplan der Gesamtanlage (DKW, 1977:Abb.3-2) liegt die Einpreßstation innerhalb des "äußeren

Schutzzaunes", im Falle des Standortes Gorleben (Salzspiegel: 250-300 m) also auf dem Salzstock. Ausgehend von der Hoffnung, daß man diese Planungsspanne inzwischen erkannt hat, bleiben im Zusammenhang mit der Verpressung Fragen offen:

- Welcher Horizont ist vorgesehen?
- Wie sollen die Wässer außerhalb der Anlage transportiert werden, so, daß Grundwasserkontamination ausgeschlossen ist?
- Wie werden solche Transporte be- und überwacht?
- Welche Auswirkung kann die Verpressung auf das Verhalten der postsalinaren Flankengesteine haben?
- Wie hoch ist die Migrationsgeschwindigkeit bei Verpressung im Präsalinar?

Bemüht man sich, was zu erwarten ist, die Transportwege kurz zu halten, so sind die am nächsten gelegenen, durch Bohrungen erreichbaren Porenspeicher

1. der Buntsandstein, der an der Diapirflanke aufgerichtet ist oder
2. das präsalinare Rotliegende, aus dem im benachbarten Wustrow (ca. 18 km SW) Erdgas gefördert wird.

Einpressung in die stark beanspruchten Flankengesteine könnte den Effekt haben, daß Spannungen auf tektonischen Flächen gelöst werden, weil die Wässer auf den Flächen den Reibungswiderstand verringern. Erdbeben könnten die Folge sein (vgl. die durch Verpressung ausgelösten Erdbeben in Denver, Colorado; EVANS, 1966). Verpressung in den präsalinaren Untergrund würde bedeuten, daß ein Horizont hoher Permeabilität in ca. 800 m mächtigen Oberrotliegend-Sandsteinen (PLEIN, 1978:Abb.5) auszuwählen wäre, der möglicherweise identisch ist mit dem gasführenden Horizont der Erdgaslagerstätte Wustrow. Mit welcher Geschwindigkeit erfolgt Wassermigration in Richtung auf diese fördernden Bohrungen? Sind Verwerfungssysteme im präsalinaren Untergrund (GRIMMEL, 1978), die

durch Einpressung aktiviert werden könnten, auszuschließen?  
Warum? Was geschieht, wenn der Horizont gasführend ist?

Die Behandlung des Themas Tritium-Verpressung im DKW-Sicherheitsbericht läßt nicht den Schluß auf planerische Sorgfalt zu. Über den Untergrund, der schließlich diese Abfälle aufnehmen soll, hat man sich offenbar keinerlei Gedanken gemacht.

## 2. Zerstörung einer Lagerstätte

Für spätere Generationen ergeben sich Gefahren aus der Lagerung der radioaktiven Abfälle im Untergrund. Kenntnisse über frühere menschliche Aktivitäten sind rasch vergessen und selbst Bergämter, bei denen die Einlagerungsunterlagen verwahrt werden sollen, sind von Menschen betriebene, also fehlerhaft funktionierende Institutionen. Es ist nicht vorzusehen, ob nicht in Zukunft Menschen den Salzstöcken wegen ihres Mineralinhalts einen viel höheren Wert beimessen, als wir es heute tun, und sich vielleicht in einigen hundert Jahren an die Ausbeutung dieser, mit einer tödlichen Fracht beladenen Vorräte machen. Der OECD-Bericht (1977:305) fordert, daß sich aus der Tief Lagerung nur "minimale Einschränkungen im Hinblick auf die zukünftige Nutzung der natürlichen Ressourcen ergeben, die für künftige Generationen nutzbringend sein können".

Es ist z.Zt. unmöglich, z.B. den Kalisalzinhalt des Salzstocks Gorleben abzuschätzen. Um eine Vorstellung von der Größenordnung zu geben, sei zum Vergleich die Südhälfte des Salzstocks Steinhuder-Meer-Linie (Kaliwerk Sigmundshall) herangezogen. In dieser sehr schmalen Salzmauer wurden von 1905 bis 1976 (FRICKE, 1954; Jahrb.f.Bergbau etc.) ca. 32 Mio t Kalirohsalz (=ca. 15 Mio m<sup>3</sup>; = ca. 5 Mio t K<sub>2</sub>O) gefördert, 1,7 Mio t allein 1975, ohne daß die Lagerstätte erschöpft wäre.

Spätere Lagerstättenausbeutungen brauchen nicht auf den Salzstock beschränkt zu bleiben. Denkbar ist z.B. Auslaugungsgewinnung von Uran in mesozoischen Sandsteinen, denkbar sind Gas- und Ölbohrungen im präsalinaren Untergrund. Unkenntnis

über den Inhalt des Diapirs kann dabei fatale Folgen haben.

#### H. ZUSAMMENFASSUNG UND WERTUNG

Der Plan, große Mengen radioaktiver Materialien in Salinargesteine von Salzstöcken einzulagern, schließt die Rückholbarkeit praktisch aus. Bei der Abschätzung des Langzeitverhaltens der Gesteine, der Grubenbaue und des gesamten Diapirs sind - wie auch beim Einlagerungsvorgang selbst - Fehler nicht auszuschließen und nicht korrigierbar.

Die Antragsteller behandeln die geowissenschaftlichen Aspekte der Einlagerung (Teilprojekt 6) nicht qualifiziert und widmen den damit verbundenen Problemen eine unangemessen geringe Aufmerksamkeit. Sie lassen die einem solchen Projekt adäquate planerische Sorgfalt vermissen, gehen mit den zur Verfügung stehenden Daten in ihrer Argumentation ungenau oder selektiv um und erwecken den Eindruck, unter der Erdoberfläche nach dem 'trial-and-error'-Prinzip vorgehen zu wollen.

Salzstöcke sind tektonisch grundsätzlich instabile Gesteinskörper. Die an ihrem Aufbau überwiegend beteiligten Gesteine sind die wasserlöslichsten der Erdkruste; sie reagieren am empfindlichsten auf mechanische und thermische Beanspruchung und sind am reaktionsfähigsten bei möglichen Interaktionen zwischen Einlagerungsmaterial und Einlagerungsmedium. Salzstöcke sind die auf bergtechnische Eingriffe am sensibelsten reagierenden Gesteinskörper, insbesondere, wenn der am Salzspiegel herrschende Lösungszustand gestört wird, wenn durch künstliche Hohlräume im Innern Kriechbewegung (Konvergenz) des gesamten Salinars ausgelöst wird und wenn mit der Einlagerung thermische Belastungen einhergehen, welche höher sind als die mit der Gesteinsbildung und -umbildung verbundenen Temperaturen es jemals waren. Daß trotz dieser Empfindlichkeit Gewinnungsbergbau in Diapiren möglich ist, ist kein Beleg für ihre Eignung als Endlager.

Die Geowissenschaften verfügen über Modellvorstellungen zur Deutung der Salinargenese, des Salzaufstiegs und des ge-

birgsmechanischen Verhaltens. Diese Modelle sind teils als 'Lehrbuchwahrheit' allgemein akzeptiert, werden z.T. aber auch als Hypothesen kontrovers diskutiert. Langzeitprognosen über das Verhalten von Gesteinen sind nicht verlässlich, wenn sie auf widersprochenen Modellvorstellungen über das Wesen von Gesteinen und Gesteinsverhalten beruhen.

Die Salzstockauswahl ging der geowissenschaftlichen Erkundung voraus. Die wenigen publizierten Daten zur regionalen Geologie lassen nicht auf einen bergbautechnisch besonders leicht zu beherrschenden Salzstock schließen. Die Lage des Diapirs im Verbreitungsgebiet wasserreicher quartärzeitlicher Rinnensysteme spricht genauso gegen die Standortwahl wie die zu erwartende komplizierte Interntektonik und die politisch bedingte Unerforschbarkeit der Gesamtstruktur Gorleben-Rambow.

Als Fehlentscheidung ist die durch Landkäufe am Standort Gorleben vorweggenommene Auswahl des Fabrikgeländes einschließlich Schachtanlage und Tritiumwasser-Verpressung auf dem Salzstock zu werten. Der nicht auszuschließende "Störfall Wassereinbruch" kann sich über Tage auf die Standsicherheit der riesigen Gebäude und Lagerbecken zerstörerisch auswirken und so Kontamination der Umgebung verursachen.

Geowissenschaftliche Gründe, Erfahrungen aus der Bergbaukunde und die Erwartung, daß man fehlerhaftes Handeln nicht ausschließen kann, führen den Verfasser zu der Überzeugung, daß die Endlagerung radioaktiver Abfälle im Salz nicht zu empfehlen und nicht zu verantworten ist.

## I. LITERATURVERZEICHNIS

- ALBRECHT, E. & KÜHN, K. (1976): Die Endlagerung radioaktiver Abfallstoffe im Salzbergwerk Asse II. - Führer Exk. V-6/8/1, Tagung DMG, Braunschweig.
- ALBRECHT, E. & PERZL, F. (1978): Das Forschungs- und Entwicklungsprogramm für die Tief Lagerung radioaktiver Abfälle in der BRD. - Vortrag Februar 1978 in Wolfenbüttel.
- ANTHONY, T.R. & CLINE, H.E. (1974): Thermomigration of liquid droplets in salt. - IV. Symp. on Salt, 1:313-321, (A.H. COOGAN, Ed.), Cleveland, Ohio.
- BAAR, C.A. (1977): Applied salt-rock mechanics, 1. The in-situ behavior of salt rocks. - 294 S., Elsevier Amsterdam, Oxford, New York.
- BAUMERT, B. (1955): Die Laugenspeicher in den Schichten des Zechsteins und ihre Gefahren für den Salzbergbau. - Z. dt. geol. Ges., 105 (1953), 4:729-733, Hannover.
- BAUMGÄRTNER, F. Hrsg. (1978): Chemie der Nuklearen Entsorgung. - Thiemig-Taschenb., 65, 230 S., 66, 375 S., München.
- BOFFEY, Ph.M. (1975): Radioactive waste site search gets into deep water. - Science, 190, 4212, p. 361.
- BOKELUND, H., EWEST, E. & LEVI, H.W. (1976): Behandlung hochradioaktiver Abfälle. - Atomwirtschaft, 21, 7:352-357.
- BRADSHAW, R.L., BOEGLY, W.J. u.a. (1963): Ultimate storage of high-level waste solids and liquids in salt formations. - Proc. Symp. Int. Atomic Energy Agency, Wien 8.-12. Okt. 1962: 153-175, Wien.
- BRAITSCH, O. (1962): Entstehung und Stoffbestand der Salzlagerstätten. - Min. u. Petr. in Einzeldarstellungen, 3, 232 S., Berlin, Göttingen, Heidelberg.
- BREDEHOEFT, J.D., ENGLAND, A.W., STEWARD, D.B. & WINOGRAD, I.J. (1978): Geologic disposal of high-level radioactive wastes - earth-science perspectives. - US-Geol. Surv., Circular 779:1-15.
- BÜRGISSEN, H., BUSER, M., KELTS, K., PFIFFNER, A., SCHÄFER, U., WEISSERT, H. & WILDI, W. (1979): Geologische Aspekte der Endlagerung radioaktiver Abfälle in der Schweiz. - Schweizerische Energie-Stiftung (SES), Report 6, 122 S. Zürich.

- CARTER, L.J. (1978): Nuclear wastes: the science of geological disposal seen as weak. - Science, 200:1135-1137, 1978.
- CEPEK, A.G. (1961): Stand und Probleme der Quartärstratigraphie im Nordteil der DDR. - Ber. dt. Ges. geol. Wiss., A, Geol. Paläont., 12, 3/4:375-404, Berlin.
- DELISLE, G. (1978): Atom Müll-Heizung im Salzstock. - Umschau, 78, 24:789-791.
- DORN, P. (1957): Der junge Vulkanismus im Braunschweiger Raum. - Geol. Jb., 74:105-116, Hannover.
- DRESCHER, J., HILDEBRAND, G. & SCHMIDEK, R. (1973): Bodensenkungen in der Lüneburger Altstadt: Vorschläge zur baulichen Sanierung. - Int. Ass. Eng. Geol., Proc. Symp. Hannover 1973, T4-G1-7, Hannover.
- DREYER, W. (1974): Gebirgsmechanik im Salz. Struktur und Gebirgsbewegungen. - 205 S., Stuttgart.
- DWK Deutsche Gesellschaft für Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen (1977): Bericht über das in der Bundesrepublik Deutschland geplante Entsorgungszentrum für ausgediente Brennelemente aus Kernkraftwerken. - 308 S., 2. Aufl., Stand: Sept. 1977, Hannover.
- ... (1978): Das Nukleare Entsorgungszentrum. Broschüre, verteilt auf der Hannover-Messe 1978.
- EPA US Environmental Protection Agency (1977): State of geological knowledge regarding potential transport of high-level radioactive waste from deep continental repositories. - IX+53 S., Washington, D.C.
- ERNST, G. & KOCH, W. (1975): Stratigraphie und Fauna der Oberkreide von Misburg, Höver und Wunstorf (Niedersachsen). - Führer z. Exk. E, Paläont. Ges., Jahresvers. 22.-24. 9.1975, 44 S., Hannover.
- EVANS, D.M. (1966): Man-made earthquakes in Denver. - Geotimes, 10, 9:11-18.
- FLAKE, R., HOLLMANN, F., HÜLSMANN, K.H., KAISER, F., KLEINVOSS, B. & SCHÖNE-WARNEFELD, G. (1975): Das Problem aufgebener Tagesschächte. - Mitt. Westf. Berggewerkschaftskasse, 31, 238 S., Bochum.
- FRICKE, K. (1954): Die unterirdischen Lagerstätten; Geologie und Lagerstätten Niedersachsens, 5, 188 S.
- FULDA, E. (1938): Die Salzlagerstätten Deutschlands. - 140 S., Berlin.

- GASTEIGER, R. & HÖHLEIN, G. (1975): Behandlung radioaktiver Abfälle aus Wiederaufarbeitungsanlagen. - Atomwirtschaft, 20:349-353.
- GIMM, W. (1968): Kali- und Steinsalzbergbau. Bd. 1, 600 S., Leipzig.
- ✓ GRIMM, A. & LEPPER, J. (1973): Schlotförmige Erdfälle im Sollinggewölbe und deren Beziehung zu Salzwasservorkommen. - Int. Ass. Eng. Geol., Proc. Symp. Hannover 1973, T2-E, 1-7, Hannover.
- GRIMMEL, E. (1978): Ist der Salzstock Gorleben zur Einlagerung radioaktiver Abfälle geeignet? - Veröffentl. Mskrpt. 28 S., Hamburg.
- GRS Geschäftsstelle der Reaktor-Sicherheitskommission (1978): Sicherheitstechnische Fragestellungen zum Entsorgungszentrum. Stand der Beratungen der RSK und SSK; Empfohlene F&E-Arbeiten und Untersuchungen. Stand: 15.2.1978, Bonn.
- GSF Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München (1975): Zur Sicherheit der Endlagerung radioaktiver Abfälle im Salzbergwerk Asse. - 51 S., Januar 1975, München.
- (1978): Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Endlagerung radioaktiver Abfälle; Jahresbericht 1977. - 72 S., Juni 1978, München.
- ✓ HERRMANN, A.G. (1979): Geowissenschaftliche Probleme bei der Endlagerung radioaktiver Substanzen in Salzdiapiren Norddeutschlands. - Vortrag Geol.-Min. Kolloquium, Universität Göttingen 17.1.1979.
- HERRMANN, A.G., SIEBRASSE, G. & KÖNNECKE, K. (1978): Computerprogramme zur Berechnung von Gesteins- und Mineralumbildungen bei der Einwirkung von Lösungen auf Kali- und Steinsalzlagerstätten (Lösungsmetamorphose). - Kali-u. Steinsalz, 7, 7:288-299.
- HOFFMANN, D. (1972): Elf Jahrzehnte Deutscher Kalisalzbergbau. - 152 S., Essen.
- ✓ HOFFMANN, H. & EMONS, H.-H. (1969): Zur Lösungskinetik des Carnallits unter besonderer Berücksichtigung des Auslösungsprozesses von Mineralsalzlagerstätten, Teil I. - Bergakademie, 21, 8:486-490; Teil II. - ebd., 21, 9:554-558.

- HOFRICHTER, E. (1973): Ursache eines Erdfalls bei Vienenburg - Salzauflösung in ersoffenen Grubenbauen. - Int. Ass. Eng. Geol. Proc. Symp. Hannover 1973, T1-H, 1-6, Hannover.
- . (1974): Speicherkavernen in Salzstöcken Nordwestdeutschlands - Geologische Probleme, Bemerkungen zur selektiven Auflösung von Kalisalzen. - Erzmetall, 65, 5:219-226.
- . (1976): Zur Frage der Porosität und Permeabilität von Salzgesteinen. - Erdoel - Erdgas-Z., 92, 3:77-80.
- . (1977): Probleme der Endlagerung radioaktiver Abfälle im Salz. - Vortrag Ernergiepolit. Forum, 11.5.77 in Stuttgart.
- . (1978): Probleme um die Kernenergie aus geowissenschaftlicher Sicht: Ressourcen, Alternativen, Endlagerung. - Erzmetall, 31, 2:85-90.
- HOLDOWAY, K.A. (1974): Behaviour of fluid inclusions in salt during heating and irradiation. - 4. Symp. on salt, 1, (A.H. COOGAN, Ed.):303-312, Cleveland, Ohio.
- HOPPE, W. (1960): Die Kali- und Steinsalzlagerstätten des Zechsteins in der Deutschen Demokratischen Republik, Teil 1. - Freib. Forsch.-H., C, 97:1-166, Berlin.
- ✓ HURTIG, E. (1965): Beziehungen zwischen Oberflächenmorphologie und Salzstrukturen. - Geophys. Geol., 7:42-56, Leipzig.
- JARITZ, W. (1972): Eine Übersichtskarte der Tiefenlagen der Salzstöcke in Nordwestdeutschland. - Geol. Jb., 90: 241-244, Hannover.
- ✓ ---. (1973): Zur Entstehung der Salzstrukturen Nordwestdeutschlands. - Geol. Jb., A, 10, 77 S., Hannover.
- JOHANNSEN, A. (1971): Salinartektonische Einflüsse auf Ausbildung und Verbreitung tertiärer und quartärer Sedimente in Ost-Holstein. - Meyniana, 21:33-39, Kiel.
- JOHANNSEN & LÖHNERT, E. (1971): Geologie und Grundwasservorkommen im schleswig-holsteinischen Unterelbe-Gebiet. - Meyniana, 21:41-66, Kiel.
- ✓ JÜRGENS, H.-H., Hrsg. (1979): Atommülldeponie Salzbergwerk Asse II: Gefährdung der Biosphäre durch mangelnde Standortsicherheit und das Ersaufen des Grubengebäudes. - 56 S., Eigendruck, Braunschweig.

- KITTS, D.B. (1976): Certainty and uncertainty in geology. - Am. J. Sc., 276:29-46.
- KÜHN, K. (1976): Zur Endlagerung radioaktiver Abfälle. - Atomwirtschaft, 21, 7:357-362.
- LOOCK, E. (1960): Stillgelegte Schächte - Ein Problem der Kali-industrie. - Freib. Forsch.-H., A, 136:57-64, Berlin.
- LOTZE, F. (1938): Steinsalz und Kalisalze. Geologie.  
in: STUTZER, O. (Hrsg.): Die wichtigsten Lagerstätten der "Nichterze", 3, 1, 936 S., Berlin.
- .. (1957): Steinsalz und Kalisalze, 1. Band. 465 S., Berlin.
- de MASILY, G., LEDOUX, E., BARBREAU, A. & MARGAT, J. (1977): Nuclear waste disposal: can the geologists guarantee isolation? - Science, 197, 4303:519-527.
- MCCARTHY, G.J., WHITE W.B. u.a. (1978): Interactions between nuclear waste and surrounding rock. - Nature, 273, 216-217.
- McGRATH, P.E. (1974): Radioactive waste management. Potentials and hazards from a risk point of view. - Kernforschungszentrum Karlsruhe. KFK 1992, 138 S., Karlsruhe.
- MEINHOLD, R. & REINHARDT, H.-G. (1967): Halokinese im Nordost-deutschen Tiefland. - Ber. dt. Ges. geol. Wiss., A, 12, 3/4:329-353, Berlin.
- MORRIS, J.B., BOULT, K.A. u.a. (1978): Durability of vitrified highly active waste from nuclear reprocessing. - Nature, 273:215-216.
- MÜLLER, W. (1958): Über das Auftreten von Kohlensäure im Werra-Kaligebiet. - Freib. Forsch.-H., A, 101:1-100, Berlin.
- OECD- Kernenergieagentur - Bericht (1977): Behandlung und Lagerung radioaktiver Abfälle. - BMFT (Hrsg.), 325 S., Bonn.
- ORTLAM, D. & VIERHUFF, H. (1978): Aspekte zur Geologie des höheren Känozoikums zwischen Elbe und Weser - Aller. - N. Jb. Geol. Paläont., Mh., 1978, 7:408-426, Stuttgart.
- PLEIN, E. (1978): Rotliegend-Ablagerungen im Norddeutschen Becken. - Z. dt. geol. Ges., 129:71-97, Hannover.
- PROSKE, R. (1978): Zur Endlagerung radioaktiver Abfälle. - Chem.-Ing.-Tech., 50, 1:9-13, Weinheim.

- PUTZIGER, K., REINHARDT, H.-G. & WEGERT, F. (1966): Geophysikalische Beiträge des regionalen geologischen Baues in Norddeutschland. - Geophys. u. Geol., 8:3-20, Leipzig.
- REINHARDT, H.-G. (1967): Hinweise der Prospektionsseismik auf rezente Salzbewegungen im Norden der DDR. - Geologie, 16:95-100, Berlin.
- RICHTER-BERNBURG, G. (1955): Stratigraphische Gliederung des deutschen Zechstein. - Z. dt. geol. Ges., 105:843-854, Hannover.
- (1968): Salzlagerstätten.  
in: BENTZ & MARTINI (Hrsg.): Lehrbuch der Angewandten Geologie, 2, 1, 918-1056, Stuttgart.
- ✓ --- (1977): Lager für nukleare Abfälle/Sicher im Salz. - Bild d. Wiss., 14. Jg., 12:80-100, Stuttgart.
- RSK und SSK (1978): Grundsätzliche sicherheitstechnische Realisierbarkeit des Entsorgungszentrums. - Anlage 2 zum Entsorgungsbericht der Bundesregierung an den Deutschen Bundestag. Drucksache 8/1281, 30.11.1977, Bonn.
- SALANDER, C. (1977): Das Konzept zur Entsorgung von Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland. - Sammelband VGB-Konferenz "Kraftwerk und Umwelt" 1977: 1-8.
- SANDIA-Studie (1978): Draft site characterization report for the Waste Isolation Plant (WIPP), Southeastern New Mexico, SAND 78-1596, Albuquerque.
- SCHEUTEN, G.H. (1978): Utilities cooperate to close back end of the fuel cycle. - Nucl. Engin., 23, 279:52-54, London.
- ✓ SCHÜLLER, W. (1978): Wenn 1 Million Jahre ein Erdentag wäre. - Atomwirtschaft, 7, (Umwelt-Beilage).
- SEIDL, E. (1921): Schürfen, Belegen und Schachtabteufen auf deutschen Zechstein-Salzhorsten. - Arch. Lagerst.-Forsch., 26, 210 S., Berlin.
- SPACKELER, G. (1950): Lehrbuch des Kali- und Steinsalzbergbaus. in: KEGEL, SPACKELER & RAMMLER (Hrsg.): Berg- und Aufbereitungstechnik, 2, 9b, 448 S., Halle (Saale).
- TEICHMÜLLER, R. (1946): Das Oberflächenbild des Salzdoms von Segeberg in Holstein. - Z. dt. geol. Ges., 98:7-29, Berlin.

- TRUSHEIM, F. (1957): Über Halokinese und ihre Bedeutung für die strukturelle Entwicklung Norddeutschlands. - Z. dt. geol. Ges., 109:111-151, Hannover.
- .-- (1960): Mechanism of salt migration in Northern Germany. - Amer. Assoc. Petrol. Geologists, 44, 9:1519-1540, Tulsa, Okl.
- US - Senate (1978): Committee on Commerce, Science and transportation; Hearing on Nuclear Waste Disposal and Utilization, March 31, 1978; Ser. Nr. 95-92, 159 S., Washington.
- ✓ VENZLAFF, H. (1978): Tieflagerung radioaktiver Abfälle aus geologischer Sicht. - Atomwirtschaft, 23, 7/8:335-338.
- ✓ WOSNIK, G. (1978): Endlagerung radioaktiver Abfälle in Salzstöcken als Beitrag zum Umweltschutz. - Naturschutz und Naturparke, 90:45-47, Stuttgart.



