

B e g u t a c h t u n g

der Eignungshöflichkeit des Salzstockes Gorleben
als Endlager für radioaktive Abfälle
(Barrierebewertung und Langzeitsicherheit):

"Geologie im Bereich des Salzstockes Gorleben"

Mit 39 Abbildungen und 4 Tabellen im Text

Auftraggeber: Niedersächsisches Umweltministerium,
Vertrag - 405-40 326/04-4/5.2 -
- z GO 2 - vom 25.8.1992

Gutachter: Prof. Dr. Klaus Duphorn, Kiel

Kiel, den 3. September 1993

I n h a l t s v e r z e i c h n i s

1. Einleitung
 - 1.1 Aufgabenstellung
 - 1.2 Historischer Abriß des Endlagerprojektes Gorleben
 - 1.3 Erläuterungen zur Eignungshöflichkeit
2. Regionalgeologischer Überblick im Gebiet des Zwillings-salzstockes Gorleben-Rambow
 - 2.1 Nomenklatorische Definitionen
 - 2.2 Morphologische Zusammenhänge
 - 2.3 Oberflächengeologie
 - 2.4 Gorlebener Rinne
 - 2.5 Regionale Tektonik
 - 2.6 Erdbeben
3. Salzstock Gorleben
 - 3.1 Stratigraphie
 - 3.1.1 Oberkarbon
 - 3.1.2 Rotliegendes
 - 3.1.3 Zechstein
 - 3.1.4 Mesozoikum
 - 3.2 Salztektonik
 - 3.3 Entwicklungsgeschichte
 - 3.4 Gipshut
4. Deckgebirge des Salzstockes Gorleben
 - 4.1 Tertiäre Deckschichten
 - 4.2 Quartäre Deckschichten
5. Quartäre Lagerungsstörungen im Rahmen des geologischen Bewertungszeitraumes der PTB/BfS
 - 5.1 Salzaufstieg

- 5.2 Salzablaugung
 - 5.2.1 Randsenkenanalyse
 - 5.2.2 Faziesanalyse
 - 5.2.3 Geomorphologische Formenanalyse
 - 5.2.4 Subrosiv abgesenkte geologische Leithorizonte
 - 5.2.5 Grundwasserströmungs-Modelle
 - 5.2.6 Quartäre Gipshut-Neubildung
- 5.3 Elstereiszeitliche Erosionsrinnen und Laugungskolke im oberen Teil des Salzstockes
- 5.4 Makro-Deformationen durch eiszeitlichen Gletscherschub
- 5.5 Mikro-Deformationen durch eiszeitlichen Gletscherdruck
- 5.6 Frostrisse im eiszeitlich gefrorenen Teil des Salzstockes
- 6. Geologische Langzeitprognose
 - 6.1 Eiszeiten oder Treibhauseffekt
 - 6.2 Salzaufstieg
 - 6.3 Salzablaugung
 - 6.4 Neotektonik
- 7. Die vier geologischen Auswahl- und Abwägungskriterien der niedersächsischen Landesregierung von 1977 im Vergleich mit den Bohrbefunden
 - 7.1 Rohstoff-Kriterium
 - 7.2 Kapazitäts-Kriterium
 - 7.3 Subrosions-Kriterium
 - 7.4 Kriterium der geologischen Jungfräulichkeit
- 8. Ermittlungs- und Bewertungsdefizite
 - 8.1 Salzstock Gorleben
 - 8.2 Salzstock Rambow
- 9. Schlußfolgerungen und Empfehlungen
- 10. Literaturverzeichnis

1. Einleitung

Bereits 1957 haben die Väter des Atomgesetzes auf die Notwendigkeit einer sicheren Beseitigung der radioaktiven Abfälle hingewiesen. 1978 hat die Reaktorsicherheitskommission, die den Bundesinnenminister in Fragen der kerntechnischen Sicherheit berät, jedoch festgestellt,

"daß die nukleare Entsorgung aufgrund der historischen Entwicklung lange Zeit das Stiefkind der Kerntechnik gewesen ist" (atomwirtschaft, Juli/August 1978: 334).

Trotz dieser offiziellen Erkenntnis ist das Stiefkind auch jetzt, im Alter von 36 Jahren, noch nicht erwachsen. Hierzu Bundeskanzler i.R. H. SCHMIDT beim 97. Bergedorfer Gesprächskreis über "Energiesicherheit für ganz Europa?" in Kiew 1992:

" Ich bin gewiß kein Grüner und habe zu keiner Zeit die Kernenergie bekämpft, im Gegenteil. Aber ich bin tief enttäuscht über die Nachlässigkeit, mit der Wissenschaftler, Unternehmen und auch Regierungen bislang mit dem Problem des atomaren Mülls umgegangen sind" (Bergedorfer Gesprächskreis 1992, Protokoll-Nr. 97: 71).

1.1 Aufgabenstellung

Die vorliegende Begutachtung betrifft, wie schon im Titel zum Ausdruck kommt, generell die Eignungshöflichkeit des Salzstokkes Gorleben für die geplante Endlagerung von radioaktiven Abfällen aller Kategorien. Sie dient der zusammenfassenden Bewertung insbesondere der sicherheitsgeologisch relevanten bisherigen Erkundungsergebnisse und soll damit eine fachliche Grundlage für das weitere Vorgehen der niedersächsischen Genehmigungsbehörde im Hinblick auf das atomrechtliche Verfahren darstellen. Erforderlich ist, daß die wesentlichen sicherheitsgeologischen Fragestellungen gesichtet und beurteilt werden.

Hierbei kann der Verfasser, der von 1979 bis 1982 mit seiner Arbeitsgruppe aktiven Anteil an der übertägigen geologischen Standorterkundung Gorleben hatte, teilweise auf eigene Erfahrungen und Kartier- und Bohrergergebnisse zurückgreifen (DUPHORN 1983, US-Nr. 0052).

Vereinbarungsgemäß konzentriert sich die vorliegende Auswertung auf die vom Bundesamt für Strahlenschutz Salzgitter im Rahmen des atomrechtlichen Verfahrens bei der niedersächsischen Genehmigungsbehörde eingereichten "Unterlagen zur Standorterkundung" (US-Nr. 0001-0061, Stand 15.6.1993) sowie auf die von den Endlagergremien des Bundes herausgegebenen geologischen Publikationen. In Anbetracht des großen Umfanges der auszuwertenden Unterlagen erwies sich ein Fachgespräch mit Kolleginnen und Kollegen des NLfB im Niedersächsischen Umweltministerium am 5. Mai 1993 als sehr hilfreich.

Die wichtigsten Endlagergremien des Bundes sind das BMFT (Bundesministerium für Forschung und Technologie), das BMU (Bundesministerium für Umwelt), die RSK (Reaktorsicherheitskommission), die PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig, bis 1989), das BfS (Bundesamt für Strahlenschutz Salzgitter, seit 1989) und die BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover). Das BfS (PTB) hat die Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE) mit der Planung, Errichtung und Betriebsführung der Anlagen des Bundes zur Sicherstellung und Endlagerung der radioaktiven Abfälle beauftragt.

Die vom Niedersächsischen Umweltministerium in Auftrag gegebene Begutachtung besitzt - ebenso wie die Endlagerforschung selbst - einen multidisziplinären Charakter: Sie gliedert sich in 8 thematisch verschiedene Teile von mehreren Autoren und wird zusätzlich zu der Begutachtung des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung Hannover (NLfB) durchgeführt. Daher lassen sich gewisse Überlappungen mit anderen Begutachtungen, besonders der Geomorphologie und Salztektonik (GRIMMEL

und Mitarbeiter), der Hydrogeologie (APPEL und Mitarbeiter) und mit der nachholsteinzeitlichen Subrosion (APPEL) nicht vermeiden. Die einzelnen Beiträge erscheinen in ausschließlich wissenschaftlicher Verantwortung der jeweiligen Autoren.

1.2 Historischer Abriß des Endlagerprojektes Gorleben

Das Atomgesetz schreibt für alle Kategorien der radioaktiven Abfälle ein durch ein Planfeststellungsverfahren legalisiertes Endlager vor. Nach dem Atomgesetz war bis 1989 die Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig für die Sicherstellung und Endlagerung der radioaktiven Abfälle zuständig. Seither werden diese Aufgaben vom neugegründeten Bundesamt für Strahlenschutz in Salzgitter wahrgenommen. Bis zum Ende des Jahres 2000 rechnet das BfS mit einer kumulierten Menge konditionierter nichtwärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle von maximal 188.399 m³. Hinzu kommen maximal 3324 m³ konditionierter wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle (HOLLMANN & BRENNECKE 1993).

Für die Endlagerung der sicherheitsgeologisch und -technisch besonders problematischen, weil radioaktive Zerfallswärme freisetzenden hochaktiven Abfälle wird derzeit in der Bundesrepublik Deutschland nur der Salzstock Gorleben untersucht. Darin sollen sowohl Abfälle aus der Wiederaufarbeitung als auch abgebrannte Brennelemente nebeneinander endgelagert werden (Kap. 7.2 u. 8.1). Für die Endlagerung der nicht- und nur geringfügig wärmeentwickelnden schwach- und mittelradioaktiven Abfälle sind außerdem der Schacht Konrad bei Salzgitter (bis 1976 Eisenerzbergwerk im Korallenoolith des Malms) und der Schacht Bartensleben bei Morsleben (bis 1969 Salzbergwerk in der Leine-Folge des Zechsteins) vorgesehen (Abb. 1). Bei letzterem handelt es sich aber nicht um ein Produkt professionellen alternativen Forschungsmanagements, sondern um eine "Mitgift" der DDR bei der Wiedervereinigung.

Das Projekt Gorleben hat eine etwas verwirrende Vorgeschichte. Im Jahre 1975 hatte die Bundesregierung die parallele und alternative Bohruntersuchung von drei anderen niedersächsischen Salzstöcken (Wahn, Lichtenhorst, Weesen-Lutterloh) veranlaßt. Der Salzstock Gorleben war wegen seiner politischen Grenzlage zur DDR nicht in die engere Wahl gekommen. Im Februar 1977 besann sich die Niedersächsische Landesregierung als Genehmigungsbehörde jedoch aufgrund örtlicher Widerstände eines anderen und schlug vor, statt der drei o.g. Salzstöcke nur den grenzüberschreitenden Salzstock Gorleben zu untersuchen.

Eine fachliche Begründung für diese plötzliche Standortänderung sind sowohl das Land als auch der Bund schuldig geblieben. Es genügt aber ein Blick auf die Landkarte, um die strategischen Vorzüge des neuen Standortes zu erkennen: Periphere Lage eines relativ dünnbesiedelten und infrastrukturell unterentwickelten niedersächsischen Randgebietes, das bis 1989 auf drei Seiten von der hermetisch abgeriegelten DDR-Grenze umgeben war (Abb. 3, 7 u. 10).

Mit dieser einseitigen Standortvorauswahl, bei der offensichtlich planerische Überlegungen den Ausschlag gaben, hat Deutschland sich im internationalen Maßstab in das forschungskonzeptionelle Abseits gestellt. Denn alle anderen westlichen Industrieländer, die Kernenergie produzieren, prüfen zunächst alternativ und parallel mit Bohrungen und Kartierungen mehrere Standorte und teilweise sogar mehrere potentielle Endlagergesteine (Kap. 9).

Im Rahmen der übertägigen Standortuntersuchung wurden vom November 1979 bis Dezember 1980 ca. 300 km² der Erdoberfläche über dem Salzstock geologisch kartiert. Dabei wurden in 5300 Handbohrungen über 13.000 Bohrmeter niedergebracht (DUPHORN 1980). Das tiefere Grundgerüst der übertägigen Standorterkundung bildeten 145 hydrogeologische Aufschlußbohrungen zur Erkundung der Schichtenfolge, Lagerungsverhältnisse, Wasserführung und Grundwasserdynamik des tertiären und quartären Deck-

gebirges, 322 Pegelbohrungen zur Einrichtung von Grundwassermeßstellen, 4 Brunnen für Langzeitpumpversuche, 44 Salzspiegelbohrungen bis etwa 30 m unter den Gipshut und 4 Tiefbohrungen mit Endteufen bei etwa 2000 m an den beiden Salzstockflanken (BfS 1992).

Zur Ergänzung der Aussagen aus den hydrogeologischen Untersuchungen wurde ein geoelektrisches Meßprogramm mit insgesamt 549 Tiefensondierungen durchgeführt. Darüber hinaus wurden der Salzstock sowie sein Deck- und Nebengebirge zur übersichtsmäßigen Klärung des geologischen Strukturbaues auf 16 insgesamt 150 km langen Profilen mit reflexionsseismischen Methoden untersucht. Außerdem überwacht seit 1986 ein seismologisches Stationsnetz den Standort Gorleben und seine weitere Umgebung auf lokale Erdbebenerscheinungen (Kap. 2.6).

Die übertägige Standorterkundung Gorleben ist im wesentlichen abgeschlossen, soll aber durch eine übertägige Standorterkundung Rambow ergänzt werden (Kap. 2 u. 8.2). Die letzte Bohrung wurde im Januar 1985 niedergebracht. Das Schachtabteufen begann im März 1986. Im August 1993 waren Teufenstände von ca. 350 m (Schacht 1) bzw. 357 m (Schacht 2) erreicht. Geplant sind Endteufen von 984 m bzw. 840 m.

Der Schacht Gorleben 1 sollte seine Endteufe bei 984 m bereits im Januar 1992 erreicht haben (BfS 1990). Nach mehreren Laugenzuflüssen auf unerwartet tiefreichenden Kontraktionsrissen (bis 60 m unter dem Salzspiegel) mußten aber seit Dezember 1991 fast ein halbes Jahr lang mehrere hundert Verpreßbohrungen durchgeführt werden, um den Wasserzutritt zu stoppen. Der tragische Schachtunfall vom 12. Mai 1987, bei dem ein Bergmann ums Leben kam und der bei besserer geotechnischer Vorsorge vermeidbar gewesen wäre (DUPHORN 1988), hat das Abteufen sogar um 1,5 Jahre verzögert. Übrigens haben auch nach Auffassung der ermittelnden Staatsanwaltschaft beim Landgericht Lüneburg geologisch-geomechanische Erscheinungen mittelbar zu diesem Unfall beigetragen.

Nach dem Planungsstand 1980 sollten die beiden Schächte bereits 1989 und das Endlagerbergwerk 1993 fertig sein. Der Beginn der Einlagerung war für das Jahr 1994 vorgesehen (VIEHL 1980). Die vielen negativen Bohrbefunde haben jedoch zu einer in diesem Ausmaße vor Bohrbeginn nicht zu erwartenden Ausweitung des übertägigen Standorterkundungs-Programmes geführt. Hinzu kamen u.a. die o.g. Stillstandspausen beim Schachtabteufen, die mit den negativen Bohrbefunden mittelbar im Zusammenhang stehen, sowie einige daraus resultierende rechtliche Schritte der niedersächsischen Genehmigungsbehörde.

Die Folgen waren ein Terminkollaps und eine erhebliche Projektverteuerung. Nach dem neuen Planungsstand (BfS 1990, US-Nr. 0026) wird mit der Fertigstellung des Endlagerbergwerkes und dem Einlagerungsbeginn erst in den Jahren 1999 bzw. 2008 gerechnet. Somit wird sich der Beginn der Einlagerung um mindestens 14 Jahre verzögern (VIEHL 1980, PTB 1983, BfS 1990, US-Nr. 0026).

1.3 Erläuterungen zur Eignungshöflichkeit

Wie schon eingangs erwähnt, betrifft die vorliegende Begutachtung generell die Eignungshöflichkeit des Salzstockes Gorleben für die geplante Endlagerung radioaktiver Abfälle aller Kategorien. In der politischen Diskussion werden oft Eignung und Eignungshöflichkeit miteinander verwechselt. Aber selbst die Endlagerergremien, die seit 1983 die Eignungshöflichkeit des Salzstockes Gorleben beschwören, haben diesen Begriff bisher noch nicht klar definiert. Deshalb wird ihm hier ein eigenes kleines Unterkapitel gewidmet.

Der Begriff Eignungshöflichkeit stammt aus der geologischen Lagerstättenprospektion. Er bezieht sich vor allem auf verschiedene geologische Faustregeln, Auswahl-, Knock out- und Abwägungskriterien, die phasenweise mit den jeweiligen Kartier- und Bohrbefunden verglichen werden. Dieses geologische

Vorwarnungssystem soll frühzeitig, schon in der Prospektionsphase, größere Fehlinvestitionen in der nachfolgenden und erheblich teureren Explorationsphase vermeiden helfen (GOCHT 1978, WELLMER 1985, W. v. BÜLOW 1990).

Wie bei der Rohstoffprospektion üblich, sollte auch bei der übertägigen Endlagererkundung anhand von strengen geologischen Eignungshöflichkeitprüfungen phasenweise abgewogen werden, ob zeitraubende und kostspielige Untertagearbeiten in einem tragbaren Verhältnis zum Lagerstättenwert stehen. Die vom BfS im Hinblick auf das atomrechtliche Verfahren eingereichten Verwaltungsunterlagen (US-Nr. 0001-0061, Stand 15.6.1993) lassen jedoch keine systematisch und phasenweise durchgeführten geologischen Eignungshöflichkeitprüfungen erkennen. Die von 1983 bis heute von den Endlagergremien und der Bundesregierung stereotyp beschworene "Eignungshöflichkeit" des Salzstockes Gorleben für die geplante Endlagerung ist geologisch nicht nachvollziehbar.

Diese Feststellung gilt auch für die "Informationsveranstaltung des Bundes vor dem Schachtabteufen" in Hitzacker 1983 (BMFT 1984). Schon der forsche Titel dieser Veranstaltung deutet an, daß die "Schachtweichen" in den Salzstock Gorleben bereits vorher gestellt waren. Von wissenschaftlicher Kultur, die erst aus Rede und Gegenrede die Proportionen für die eigene Betrachtungs- und Handlungsweise gewinnt, war diese Veranstaltung weit entfernt.

Die von der Reaktorsicherheitskommission empfohlenen und seit 1983 für das Planfeststellungsverfahren verbindlichen "Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk" sind vom methodischen Ansatz her hinsichtlich des Schutzzieles hauptsächlich strahlenmedizinisch und vom zeitlichen Ansatz her hauptsächlich auf die standortspezifische Sicherheitsanalyse in der finalen Phase der untertägigen Erkundung orientiert. Dabei geht es in erster Linie um die

Sicherheitsanforderungen für den Eignungsnachweis nach Paragraph 45 der Strahlenschutzverordnung (Kap. 6).

Für die geologischen EignungshöfFIGkeitsprüfungen lassen die Kriterien der Reaktorsicherheitskommission einen großen, meines Erachtens zu großen Ermessungsspielraum zu, der auch Spielraum für wissenschaftliche Manipulationen enthält. Einige RSK-Kriterien sind so trivial, daß man mit ihnen, wenn man will, auch einem schlechten Standort einen Freibrief für die untertägige Weitererkundung ausstellen kann. Der Beschluß des "Fachausschusses Brennstoffkreislauf des Länderausschusses für Atomenergie" vom 24.3.1983 schließt jedoch strenge sicherheitsgeologische EignungshöfFIGkeitsprüfungen aufgrund von flexibel gehandhabten Auswahl-, Knock out- und Abwägungskriterien als Ergänzung zu den RSK-Kriterien nicht grundsätzlich aus (Rdschr. d. BMI v. 20.4.1983 - RS - AGK 3 - 515790/2).

Die Niedersächsische Landesregierung, die nach dem Atomgesetz zuständige Genehmigungsbehörde, hat wenigstens vom Ansatz her eine sicherheitsgeologische EignungshöfFIGkeitsprüfung vorge-schrieben. Bei der Standortvorauswahl 1977 hat sie vier konkrete geologische Sicherheitskriterien aufgestellt (JARITZ 1981, Bundestagsdrucksache 8/3082). In ihrer Regierungserklärung vom 16. Mai 1979 hat sie gefordert, daß der Salzstock Gorleben bei einer negativen Abwägung und Beurteilung der Bohrbefunde nicht mehr untertage weitererkundet werden soll (VIEHL 1980). Mit dieser Forderung wollte sie eine Fehlsteuerung der deutschen Endlagerforschung vermeiden. Legt man ihre vier Kriterien als EignungshöfFIGkeits-Maßstab an die Bohrbefunde an, dann hätte das Gorleben-Projekt spätestens 1984 abgebrochen werden müssen (Kap. 7).

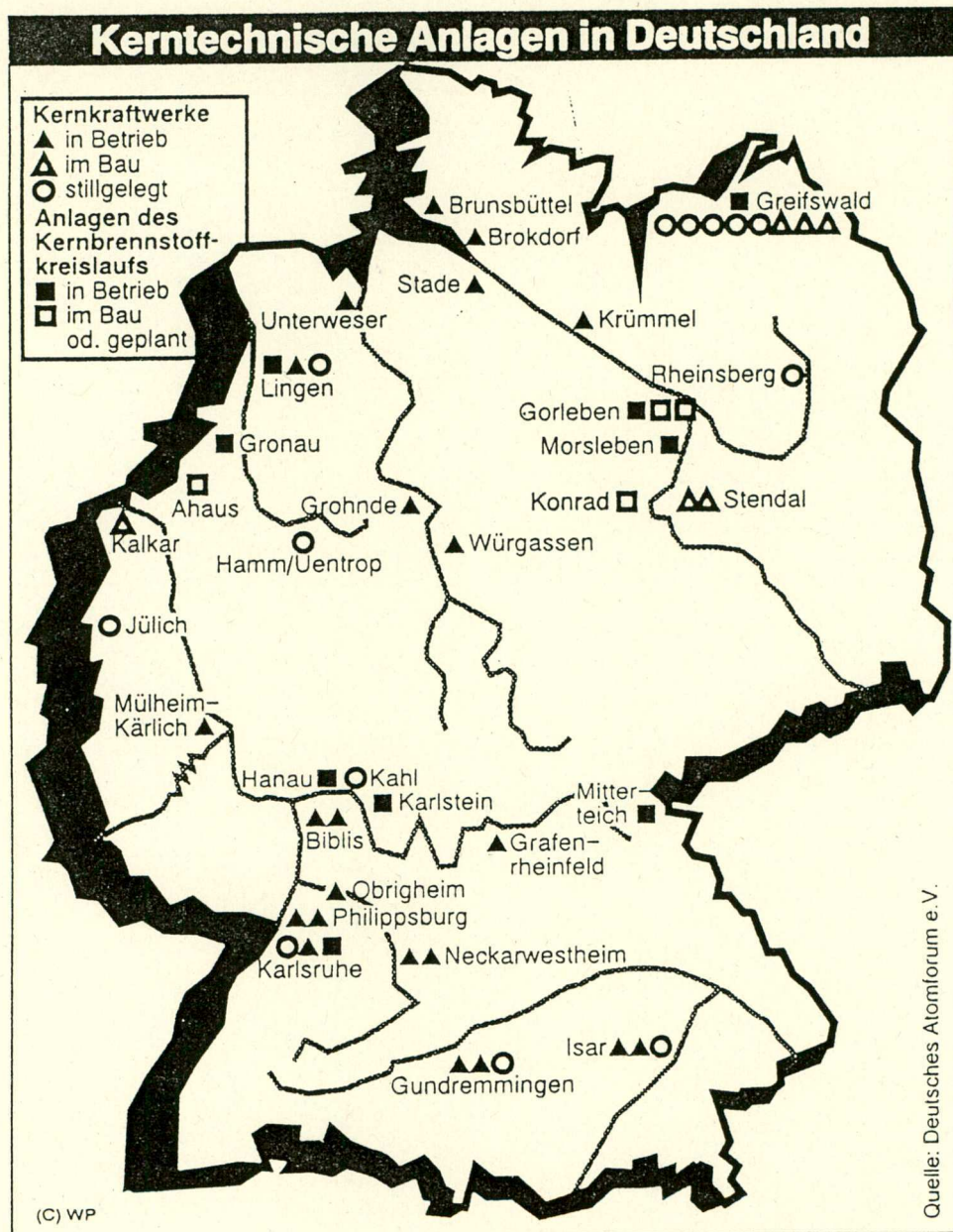


Abb. 1: Kerntechnische Anlagen in Deutschland mit den geplanten Endlagerstandorten Gorleben und Schacht Konrad und dem von der DDR übernommenen Endlagerbergwerk Morsleben. Stand: Tag der deutschen Einheit, 3. Oktober 1990. Quelle: Deutsches Atomforum (1991).

Die Darstellung der Abb. 1 ist teilweise nicht mehr aktuell.

Inzwischen wurden der Bau der Kernkraftwerke Stendal und Kal-
kar gestoppt sowie die DDR-Kernkraftwerke Greifswald und Rheins-
berg stillgelegt. Das Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich steht auf
tektonisch gestörten Deckschichten eines quartären Vulkankra-
ters und mußte aufgrund eines Urteiles des Bundesverwaltungs-
gerichtes Berlin im Herbst 1988 abgeschaltet werden. Ein Wie-
deranfahren seines Reaktors hat das Oberverwaltungsgericht
Koblenz im Juli 1993 aus sicherheitsgeologischen Gründen ab-
gelehnt. Erst müsse geklärt werden, ob das Kernkraftwerk durch
Vulkanismus oder Erdbeben (Kap. 2.6) gefährdet sei.

Tab. 1: Stratigraphischer Überblick mit erdgeschichtlicher
Entwicklung des Lebens. Nach E. SEIBOLD (1991).

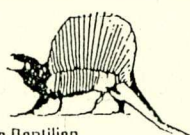
Zeltalter	Zeit in Mio. Jahren	Periode/System	Vorherrschende Tierwelt	Vorherrschende Pflanzen
Erdneuzeit (Känozoikum)	1,6	Quartär (Eiszeit)	 Mensch	
	66	Tertiär (Braunkohlenzeit)	Säugetiere 	
Erdmittellalter (Mesozoikum)	140	Kreide	Vögel 	
	208	Jura	Dinosaurier 	
	247	Trias		
	Erdaltertum (Paläozoikum)	296	Perm	 Primitive Reptilien
330		Karbon (Steinkohlenzeit)		
408		Devon	Panzerlurche 	
436		Silur	Panzerfische 	
505		Ordovizium	Kopffüßer 	
570		Kambrium	Trilobiten 	
Erdurzeit (Präkambrium)	Etwa 3 Milliarden Jahre		Beginn des Lebens	Algen Blaualgen

Abb. 3: Quartärgeologische Übersichtskarte der weiteren Umgebung der Salzstruktur Gorleben-Rambow mit Profillinie R-S, Grenze des Kartiergebietes (---) und Tiefenlinienplan der Mitteleozän-Basis in der Prignitz. Nach MEYER (1980) und DUPHORN (1983, US-Nr. 0052), etwas geändert.

Die eingetragene DDR-Grenze setzt sich im Norden an der Elbe und im Süden längs des Kartenrandes nach Westen fort. Der 49,5 m tiefe Arendsee, ein Erdfallsee in der Altmark, dessen letzter Einbruch im Jahre 1685 historisch verbürgt ist, reicht mit seinem Nordteil in die SE-Ecke der Karte hinein. Auch die beiden Seen über der Scheitelzone des Salzstockes Rambow sind durch junge Salzablaugung entstanden.

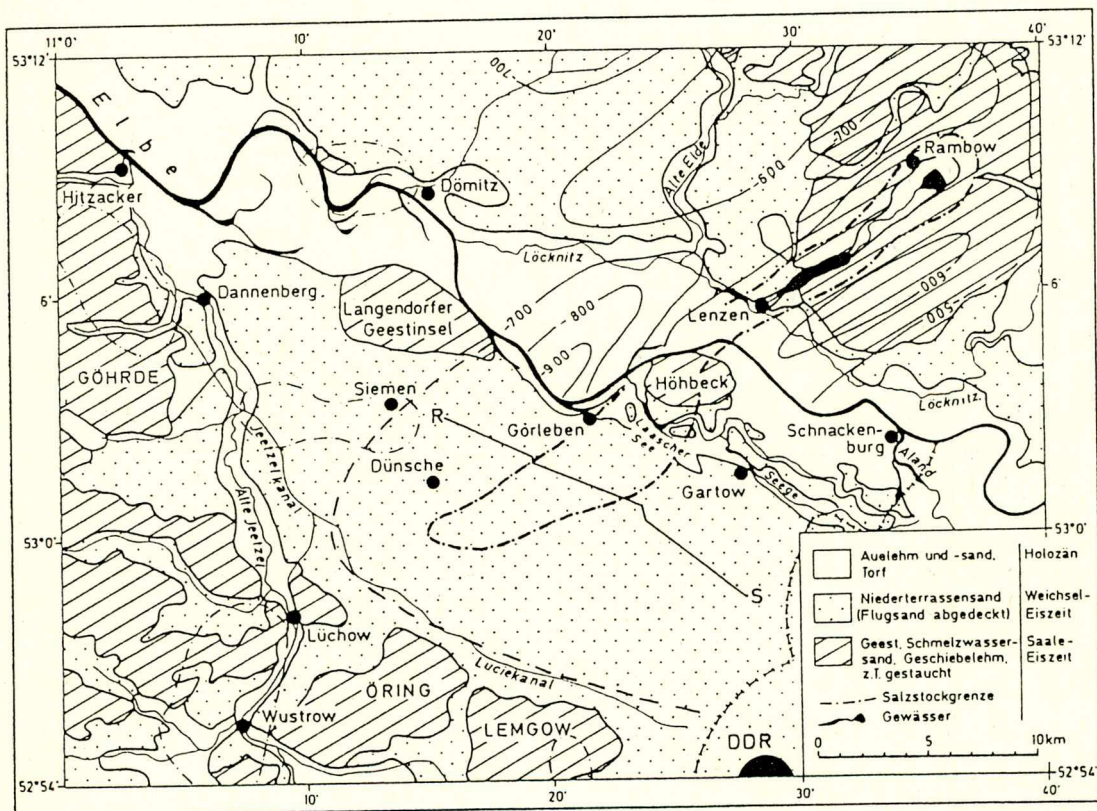


Abb. 4: Tieflagen der Quartärbasis unter -100 m NN und Verbreitung elstereiszeitlicher Sedimente in der bis über 300 m tiefen Gorlebener Rinne und in den beiden den Salzstock Gorleben flankierenden Tertiär/Altquartär-Randsenken. Nach BGR (1991, US-Nr. 0048).

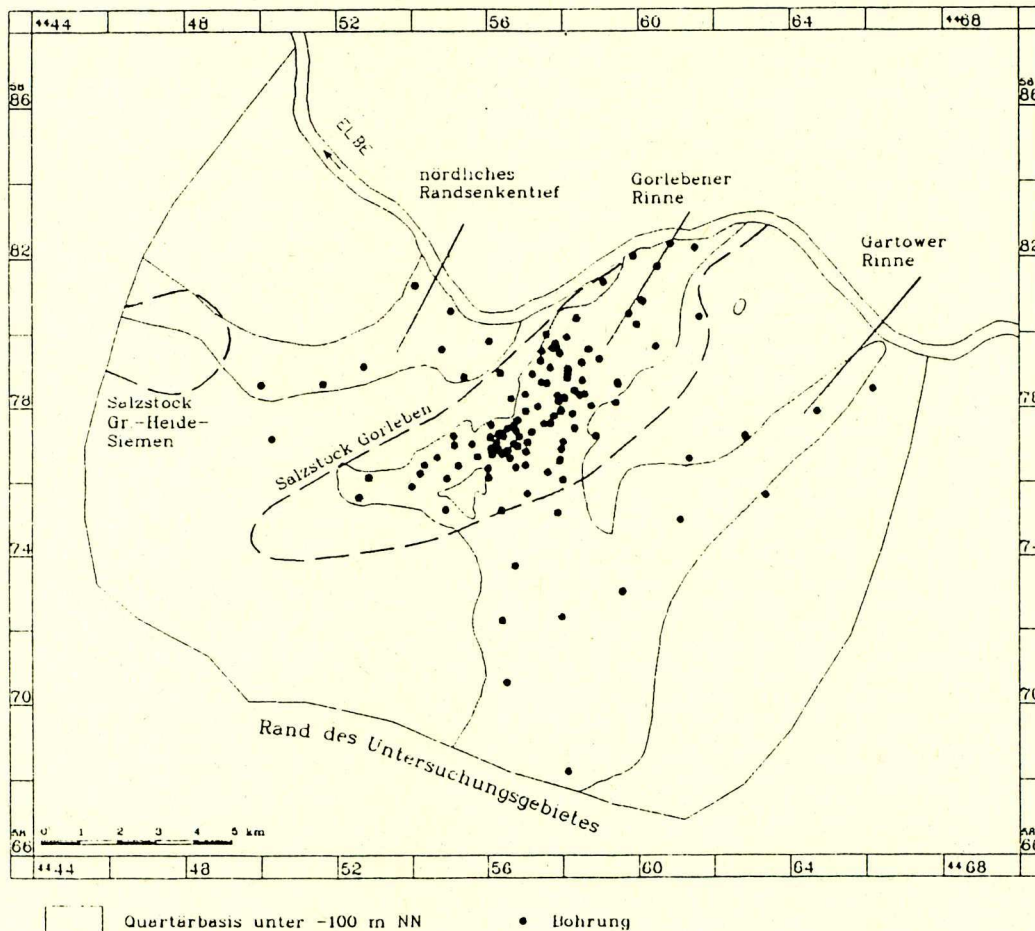


Abb. 5: Tiefenlinienplan der Quartärbasis in der Gorlebener Rinne und den beiden flankierenden Tertiär/Altquartär-Rand-senken, bezogen auf NN. Nach BfS (1990, US-Nr. 0026). Diese Abbildung ergänzt die Abb. 4 im Detail. Bekanntlich steckt aber auch der Teufel in den Details: Im SW-Teil der Gorlebener Rinne fehlt die Signatur für Rinnenachse und am NE-Rand sind die Tiefenzahlen falsch angeordnet: 200 m statt 100 m und umgekehrt.

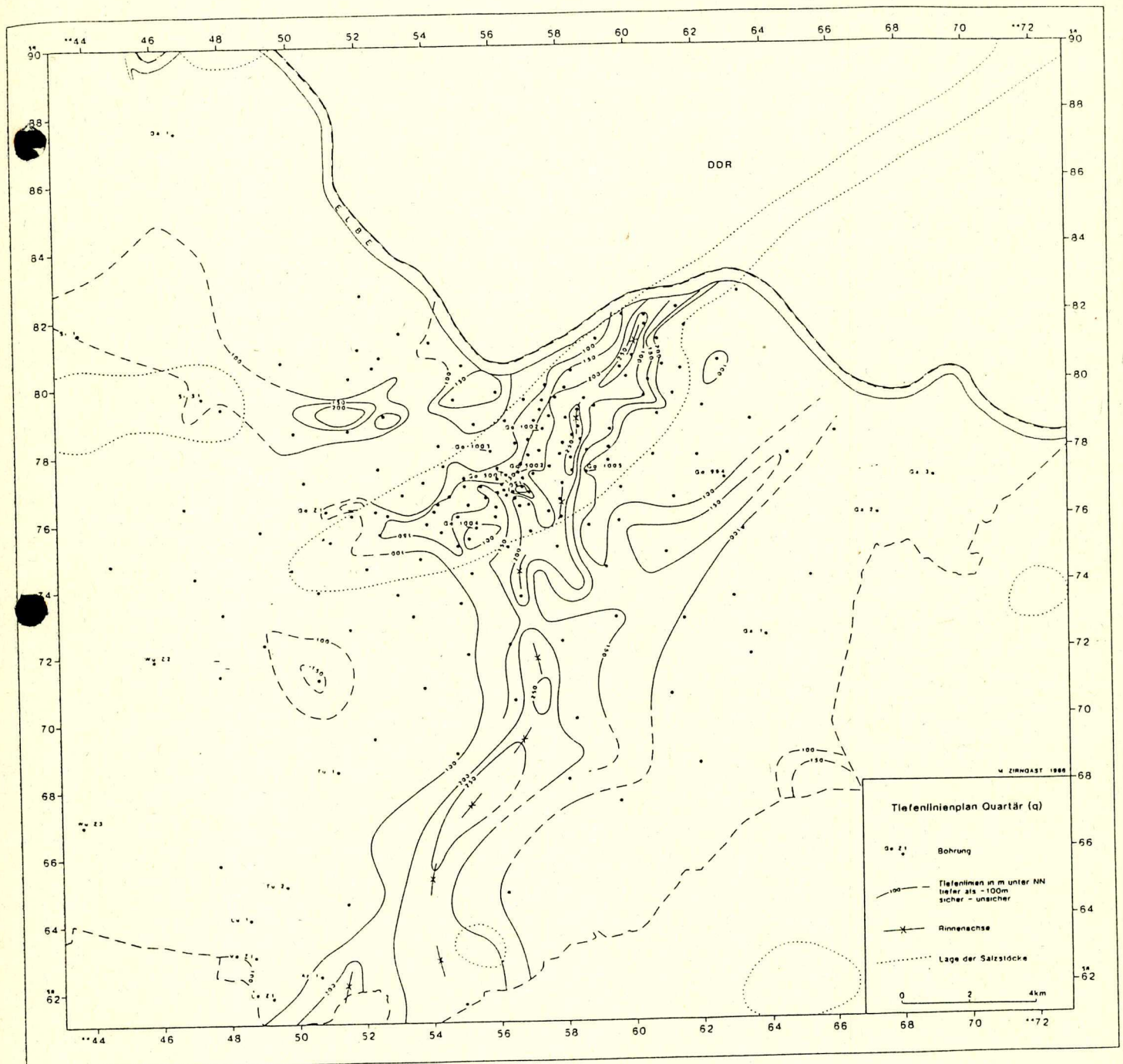
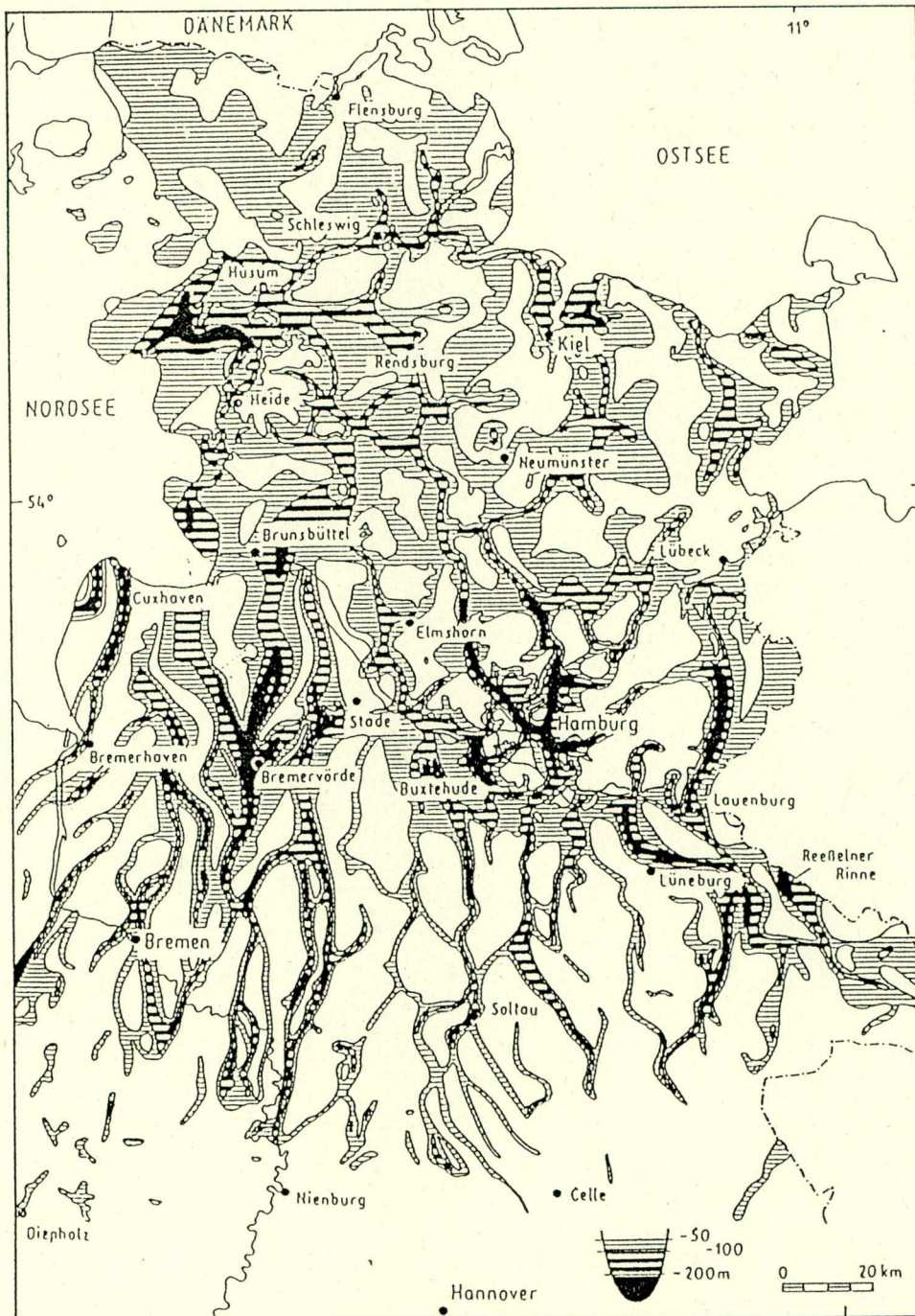


Abb. 6: Die Tiefenrinnen der Elster-Eiszeit im Untergrund Nordwestdeutschlands, bezogen auf NN. Aus HANTKE (1993). Die Reeßelner Rinne reicht mit einer bis 502 m mächtigen quartären Sedimentfüllung bis in eine Tiefe von 434 m unter NN und klingt südwestlich der hier nicht eingetragenen Gorlebener Rinne aus.



2. Regionalgeologischer Überblick im Gebiet des Zwillingssalzstockes Gorleben - Rambow

Die vom Bundesamt für Strahlenschutz Salzgitter beim Niedersächsischen Umweltministerium im Hinblick auf das atomrechtliche Verfahren eingereichten Untersuchungsberichte, im vorliegenden Text US-Berichte genannt, enthalten geowissenschaftliche Beiträge von höchstem internationalen Standard. Dies gilt besonders für die Salzmechanik, die Geochemie, die Geophysik, die Feinstratigraphie des Zechsteins und Tertiärs, die Randsenkenanalyse, die Hydrogeologie und Mikropaläontologie des Deckgebirges sowie für die Vegetations- und Klimageschichte des Altquartärs. Andererseits ist aber auch eine größere Anzahl von fachlichen Mängeln und sicherheitlich relevanten Ermittlungs- und Bewertungsdefiziten nicht zu übersehen (Kap. 2-9). Davon ist auch die regionale Geologie betroffen.

2.1 Nomenklatorische Definition

Die Salzstöcke Gorleben und Rambow, die unter der Elbe miteinander verbunden sind, waren über vier Jahrzehnte hinweg politisch getrennt. Daraus haben sich auch getrennte Betrachtungsweisen entwickelt, die es zu überwinden gilt. Der Öffentlichkeit dürfen nicht zwei grundlegend andere Strukturen vorgetauscht werden (Elbe-Jeetzel-Zeitung v. 12.1.1990).

Der geologische Kenntnisstand über die beiden Salzstockgebiete ist sehr ungleichwertig. Dennoch lassen die Auswertung der ostelbischen Fachliteratur und der im Geologischen Landesamt Mecklenburg-Vorpommern in Schwerin vorhandenen Bohrbefunde über den schon länger bekannten morphologischen Zusammenhang der beiden Salzstöcke hinaus auch strukturgeologische und salztektonische Gemeinsamkeiten besonders bei der "geologischen Geburt" im Salzkissen- und Hauptdiapir-Stadium erkennen (Kap. 3.3).

Nach Herstellung der deutschen Einheit ist es an der Zeit, die Gesamtstruktur Gorleben-Rambow einschließlich der salztektonisch angelegten Randsenken im Rahmen der Endlagerforschung ganzheitlich neu zu bewerten. Dies gilt auch für die Nomenklatur. In der vorliegenden Studie wird bei der ganzheitlichen Betrachtungsweise von der Salzstruktur bzw. vom Zwillingsalzstock Gorleben-Rambow und nur bei der Einzelbetrachtung sowie bei Vergleichen von den Salzstöcken bzw. Teilsalzstöcken Gorleben und Rambow gesprochen.

Immerhin haben auch die Endlagergremien inzwischen eingesehen, daß ihre früher vertretene Position: Keine Einbeziehung des Salzstockes Rambow in die geologische Endlagerforschung Gorleben - aus sicherheitsgeologischer Sicht nach der Wiedervereinigung nicht mehr aufrechterhalten werden kann. Diese Einbeziehung war von außen (GRIMMEL 1980), aber auch intern (DUPHORN 1983, 1984) seit langem mehrfach gefordert worden.

Im Jahre 1990 hat die BGR für die Nacherkundung des Salzstockes Rambow, seiner Randsenken und der Nordhälfte der NW-Randsenke des Salzstockes Gorleben, die früher wegen ihrer Lage in der DDR ebenfalls nicht untersucht werden konnte (s. Abb. 2 u. 3), den Forschungsplan Gorleben-Nord vorgelegt (BGR 1990, US-Nr. 0018). Dieses aus sicherheitsgeologischer Sicht gut geplante

Projekt, dessen fachliche Schwerpunkte bei der Hydro- und Quartärgeologie liegen, steht aber bis heute nur auf dem Papier (Kap. 8.2).

2.2 Morphologische Zusammenhänge

Die gemeinsame Salzstruktur Gorleben-Rambow ist insgesamt etwa 30 km lang. Der 3-4 km breite Teilsalzstock Gorleben setzt sich östlich der Elbe im nur 1,5-3 km breiten Teilsalzstock Rambow fort (Abb. 2 u. 3). Unter der Elbe sind beide in einer Tiefe von mehr als 400 m miteinander verbunden.

Das Zechsteinsalz in der Struktur Gorleben-Rambow ist aus einer Tiefe von maximal 3000-3500 m aufgestiegen (Kap. 2.5). Die Gipshutoberfläche des Salzstockes Gorleben hat eine mittlere Tiefe von 200-300 m. Mit der bis 150 m hohen Erhebung des "Steilen Zahnes" (DUPHORN 1983, US-Nr. 0052) reicht dieser Gipshut in der Bohrung GoHy 850 jedoch unerwartet hoch bis auf 133 m (=108 m unter NN) an die Erdoberfläche heran.

Eine Top-Bohrung bei Lenzen erreichte den Gipshut des Salzstockes Rambow bei einer Tiefe von 213,6 m (MEINHOLD 1955/56). Eine andere Top-Bohrung traf bei Nausdorf, zwischen den beiden o.g. Salzablaugungsseen, unter Tonsteinen des Eozäns den Gipshut bereits bei einer Tiefe von 111 m unter Gelände bzw. 91 m unter NN an (Mitteilung Geolog. Landesamt Mecklenburg-Vorpommern in Schwerin, 1993).

Ein Blick auf die Abbildungen 21, 22 und 28 zeigt, daß die morphologischen und strukturellen Zusammenhänge noch tiefer in den Untergrund hinabreichen: Beide Salzstöcke zeigen an ihrer SE-Flanke einen großen Überhang, der sich in die Schichten der Oberkreide eingeschoben hat.

2.3 Oberflächengeologie

Der Salzstock Gorleben liegt im Hannoverschen Wendland, in der Nordost-Ecke des Landes Niedersachsen, der Salzstock Rambow in der brandenburgischen Prignitz. Die vor der deutschen Wiedervereinigung "grenzüberschreitende" Salzstruktur und ihre Umgebung umfassen an der Erdoberfläche vier geologisch-morphologische Hauptbaueinheiten (Abb. 3):

1) Die in der Saale-Eiszeit angelegte Altmoränenlandschaft bzw. Geest mit der Göhrde (126 m ü. NN) und dem Hohen Drawehn (142 m) im Westen, mit dem Öring (54 m) und dem Lemgow (47 m) im Süden und mit der etwa ebenso hohen Rambower Geest im Norden. Letztere gehört zur unfruchtbaren "Griesen Gegend".

2) Das in der Weichsel-Eiszeit angelegte, bis 30 km breite Elbe-Urstromtal (15-20 m ü. NN) mit seinen fluviatilen Niederterrassensanden und aufgesetzten Flugsanden und Dünenfeldern des Holozäns. Im Urstromtal flossen vor 15.000-20.000 Jahren das Schmelzwasser des letzten skandinavischen Inlandeises und das vom Eise aufgestaute Flußwasser der Elbe, der Oder und der Weichsel vor dem nördlich der Elbe liegenden Eisrand zur Nordsee ab (DUPHORN & SCHNEIDER 1983, SCHRÖDER 1988, HANTKE 1993).

3) Die holozänen Flußauen der Elbe, Jeetzel, Löcknitz und Elde, die nur wenige Meter in die Niederterrassensande des Elbe-Urstromtales erosiv eingeschnitten sind.

Über der Scheitelzone des Salzstockes Rambow liegt eine geowissenschaftlich hochinteressante, optisch imposante und im Hinblick auf die geplante Endlagerung auch sicherheitsrelevante Salzablaugungs- bzw. Subrosionssenke mit dem Rudower und dem Rambower See (Abb. 3). Bei beiden handelt es sich um holozäne Salzablaugungs-Seen (Kap. 5.2). Beide sind auch 3 Jahre nach der Wiedervereinigung geologisch noch "Terra incognita" (Kap. 8.2).

4) Die beiden "Geestinseln" des Hühbeck (76 m) und bei Langendorf (49 m), die steil aus der flachen Elbaue emporragen. Die saaleeiszeitliche Stauchmoräne des Hühbeck sitzt dem Nordteil des Salzstockes Gorleben auf und ist wegen ihres eistektonischen Tiefganges und der dadurch hergestellten hydraulischen Verbindungen zwischen der Erd- und der Salzstockoberfläche auch von sicherheitsgeologischer Bedeutung (Kap. 5.4).

2.4 Gorlebener Rinne

Das morphologisch relativ einfache Bild der jungen oberflächennahen Quartär-Ablagerungen, welche die vier o.g. Haupteinheiten einnehmen, verschleiert ein tief eingeschnittenes System von elstereiszeitlichen Gletscher- und Schmelzwasserrinnen im Untergrund. Die Reeßelner Rinne in der nördlichen Gohrde ist bis auf 434 m u. NN eingeschnitten (Abb. 6). Die quartären Ablagerungen erreichen darin eine Gesamtmächtigkeit von 502 m. Das ist die größte Quartärmächtigkeit, die je in Norddeutschland erbohrt wurde.

Diese elstereiszeitlichen Tiefenrinnen im Untergrund Norddeutschlands besitzen eine große grundwasserwirtschaftliche Bedeutung. Sie sind daher im Zuge von mehreren wasserwirtschaftlichen Rahmenprogrammen geologisch gut erforscht worden (KUSTER & MEYER 1979). In keiner anderen Rinne wurden jedoch so viele hydrogeologische Aufschlußbohrungen niedergebracht wie in der nur etwa 1-3 km breiten, aber über 300 m tiefen Gorlebener Rinne (Abb. 4 u. 5).

Ihre Maximalteufe beträgt nach BfS (1990, S. 134, US-Nr. 0026) 290 m unter NN, nach JARITZ u.a. (1986) jedoch 320 m unter NN. Die BGR (1991, US-Nr. 0048) enthält sich der Stimme. Somit bleibt ungeklärt, wie tief die in den oberen Teil des Salzstockes Gorleben eingeschnittene Rinne ist.

Die Gorlebener Rinne zeichnet über der Scheitelzone des Salzstockes Gorleben eine altquartäre Subrosionssenke nach (Kap. 4.2 u. 5.2). An der bis über 30° steilen Gipshut-Aufragung des "Steilen Zahns", die etwa in der Mitte des Salzstockes liegt und in welcher der Gipshut bis auf 133 m an die Erdoberfläche heranreicht, gabelt sie sich in zwei Äste. Der eine Rinnenteil verläuft in höherer Position im Streichen des Salzstockes weiter nach SW, die tiefere Hauptrinne durchschneidet den aus den Schichten des Tertiärs aufgebauten Ringwall des Salzstockes (Kap. 3.2 u. 3.3) und biegt nach Süden in die Gartower Rinne hinein ab. Letztere erreicht eine Teufe von etwa 150-175 m und zeichnet, ebenso wie die noch etwas tiefere NW-Rinne, eine salztektonisch angelegte Tertiär/Altquartär-Randsenke des Salzstockes Gorleben nach (Kap. 5.3 u. Abb. 4, 5).

Die vielen Bohrbefunde des Standorterkundungs-Programms beweisen, daß die Sedimentfüllung der Gorlebener Rinne im unteren Teil hauptsächlich aus elstereiszeitlichen Schmelzwassersanden besteht und in einem Tunneltal unter dem Elster-Eis gebildet wurde (Kap. 4.2 u. 5.3).

Vom Grunde der Rinne aus wurden die unter hohem hydrostatischen Überdruck stehenden Schmelzwässer des Elster-Eises seitlich in den unteren Teil des Gipshutes und örtlich bis mindestens 170 m unter dem Salzspiegel (Grenze zwischen dem Salzstock und seinem Gipshut) in den ansonsten unversehrten Salzstock eingespült. Die Sand- und Kiesfracht dieser Schmelzwässer reicht bis mindestens 92 m in den Salzstock unterhalb des Salzspiegels hinein. Das hiervon ausgehende Gefährdungspotential möglicher Wasserwegsamkeiten im oberen Teil des Salzstockes wird von den Endlagergremien in fachlich fahrlässiger Weise unterschätzt und ignoriert (Kap. 5.3, 7.4 u. 8.1).

Ein Kartenvergleich der Abb. 4, 5 und 6 und der niedersächsischen Rinnenkarte von KUSTER & MEYER (1979) zeigt, daß vor Bohrbeginn (1979) mit einer Gorlebener Rinne dieser Dimension nicht

gerechnet wurde und wegen der wenigen Bohrungen in diesem Gebiet auch nicht gerechnet werden konnte. Ich kann dies aus eigener Erfahrung bestätigen, denn während der Arbeiten für die Abteilung Geologische Landesaufnahme des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung Hannover von 1964 bis 1972 gehörte der Salzstock Gorleben zu meinem amtlichen Dienstbezirk. Die Auffassung der Bundesregierung von 1983,

"daß die bisherigen Ergebnisse nicht im Widerspruch zu den Erwartungen stehen" (s. Kap. 7),

ist auch in diesem Falle geowissenschaftlich nicht nachvollziehbar.

Die nördliche Fortsetzung der Gorlebener Rinne unter der Elbe und über dem Salzstock Rambow soll im Rahmen des 1990 geplanten, bisher aber immer noch nicht in Gang gekommenen Projektes Gorleben-Nord untersucht werden (Kap. 8.2). Nach eigener Einsicht in das Bohrarchiv des Geologischen Landesamtes Mecklenburg-Vorpommern scheint der tiefe Hauptast der Gorlebener Rinne bereits unter der Elbe-Aue zwischen Lenzen und Mödlich den Salzstock Rambow in nördlicher Richtung zu verlassen. Ein weniger tief eingeschnittener Nebenast erstreckt sich aber über dem Salzstock zumindest bis zur Bohrung Nausdorf in der Salzablaugungssenke zwischen dem Rudower und Rambower See weiter fort (Kap. 4.2 u. 8.2). Somit ergäbe sich bei der Gesamtbetrachtung der Gorlebener Rinne ein bajonettartig versetzter Verlauf. Die Bajonettspitzen würden nach S bzw. N weisen.

2.5 Regionale Tektonik

Die Salzstruktur Gorleben-Rambow liegt in einem großen, im Oberkarbon (Tab. 1) angelegten tektonischen Senkungsfeld, dem Norddeutschen Becken (Abb. 2). In dessen Senkungszentrum im Gebiet der Unterelbe liegt die Zechsteinbasis bei einer Teufe von etwa 6000-8000 m, unter dem Salzstock Gorleben bei

3100-3300 m unter NN (BfS 1991, US-Nr. 0049). Infolge dieser tektonischen Senkungstendenz hat die Unterelbe-Bucht vom Zechstein-See des Perms (vor ca. 250 Millionen Jahren) bis zum Holstein-See des Quartärs immer wieder als Leitbahn für weit landeinwärts reichende Meeresüberflutungen gedient (Abb. 15).

Die von der Reaktorsicherheitskommission empfohlenen "Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk" enthalten auch eine - wenngleich sehr weit gefaßte - tektonische Sicherheitsanforderung:

"Der Standort eines Endlagerbergwerkes soll sich durch geringe tektonische Aktivität auszeichnen und von Bereichen starker tektonischer Aktivität so weit entfernt sein, daß die Integrität des Endlagers durch sie nicht gefährdet wird".

Die regionale Tektonik der Pompeckjschen Scholle und der Prignitz-Scholle, an deren Scharnier die Salzstruktur Gorleben-Rambow liegt (Abb. 2), wird in den US-Berichten der Endlagergremien grob vernachlässigt. Die BGR (1991, US-Nr. 0048; 1991, US-Nr. 0038) handelt dieses Kapitel mit 1-2 Textseiten ab und die BfS (1990, US-Nr. 0026) schreibt in ihrer Fortschreibung zum zusammenfassenden Zwischenbericht der PTB über bisherige Ergebnisse der Standorterkundung Gorleben vom Mai 1983 dazu gar nichts.

Die regionaltektonischen Ermittlungs- und Bewertungsdefizite der Endlagergremien reichen zeitlich bis zum Beginn der Standorterkundung Gorleben zurück. Damals schrieb der BGR-Geologe JARITZ im Zusammenhang mit seiner ablehnenden Haltung zu tektonischen Einflüssen auf die Salzstockbildung auf der Pompeckjschen Scholle (s. Kap. 3.2):

"In mehr spekulativen, vor allem älteren geologischen Arbeiten sind verschiedentlich Versuche unternommen worden, den Untergrund Norddeutschlands als Schollenmosaik aufzufassen" (1979, S. 180).

Diese pauschale Abwertung war und ist fachlich unberechtigt. Bereits 1979 waren einige Teilgebiete des Norddeutschen Beckens, vor allem auf der Insel Rügen und in der Nordsee so gut untersucht, daß sie sich als ein Schollenmosaik mit gefaltetem Fundament unterschiedlichen Alters darstellten. Immerhin waren seit 1963 in der Nordsee mehrere hundert Erdöl- und Erdgas-Aufschlußbohrungen niedergebracht und mehrere tausend km seismische Profile vermessen worden. Von wissenschaftlicher Spekulation konnte dabei nicht die Rede sein.

Inzwischen gehören die plattentektonischen Vorstellungen und Ergebnisse über den Strukturbau des tiefen Untergrundes in Nord- und Mitteleuropa, auch wenn im Detail noch viele Fragen offenbleiben, zum geowissenschaftlichen Allgemeingut (ZIEGLER 1990, MEISSNER u.a. 1992, DUPHORN u.a. 1994). Das gleiche gilt für die modernen salztektonischen Erkenntnisse der BGR (Kap. 3.2). In den US-Berichten 0001-0061 (Stand 15.6.1993) sucht man jedoch danach vergeblich. Weder die tektonische Phasengliederung des niedersächsischen Perms, Mesozoikums und Tertiärs (KOCKEL 1989, 1990) noch die strukturelle Analyse des niedersächsischen Riftsystems (GAST 1988) haben darin Eingang gefunden.

Außerdem vermißt man die seit 1978 erschienene Fachliteratur aus der DDR und den aus ihr hervorgegangenen neuen Bundesländern. Nicht einmal die regionaltektonischen Sonderhefte 2/1989 und 4/1990 der Niedersächsischen Akademie der Geowissenschaften wurden berücksichtigt. Deren Beiträge basieren weitgehend auf der geologisch-geophysikalischen Datenbasis der Erdöl/Erdgasindustrie der DDR. Die Arbeit von BEUTLER & SCHÜLER (1978) ist im Literaturverzeichnis der BGR (1991, US-Nr. 0048) mit einer falschen Jahreszahl (1987) zitiert.

Die Gorleben-Geologen haben vor Ort sorgfältig recherchiert. Der Fehler liegt nicht bei ihnen, sondern beim Forschungsmanagement. Dieses hätte die Analyse der Dynamik des Salzstockes Gorleben durch eine bis in das Rotliegende zurückreichende regionaltektonische Struktur- und Beckenanalyse der weiteren Umgebung des Salzstockes unter dem besonderen Aspekt der Endlagersicherheit ergänzen müssen. Ohne diese Ergänzung werden die fachlichen Aussagen in den US-Berichten dem oben zitierten tektonischen Sicherheitskriterium der RSK nicht gerecht.

Hiermit wird versucht, dieses Versäumnis unter besonderer Berücksichtigung der vom Forschungsmanagement ignorierten und im vorliegenden Text durch Unterstreichung gekennzeichneten Fachliteratur wenigstens vom Ansatz her skizzenhaft nachzuholen. Als Leitfaden dienen die Abb. 2 und die Abbildungsreihe 7-11.

Die Abb. 2 stammt aus dem Lehrbuch von WALTER (1992) über die "Geologie von Mitteleuropa". Im nordöstlichen Niedersachsen deutet sich eine Auffächerung der Salzstruktur-Ketten zur Elbe hin an. Der Ostrand dieses Strukturfächers mit der Salzstockkette Wustrow-Gorleben-Rambow liegt am tektonischen Scharnier zwischen der Pompeckjschen Scholle im Westen und der Prignitz-Scholle im Osten (s. Abb. 7-9).

Die Abb. 7 (BGR 1991, US-Nr. 0038) zeigt bei einem größeren Maßstab mehr Details als die Abb. 2. Auch die Auffächerung der Salzstruktur-Ketten im Hannoverschen Wendland zur Elbe hin ist hier deutlicher zu erkennen. Sie beginnt südwestlich von Wustrow. Die meisten Salzstöcke am Westrande des Fächers sitzen an der Zechsteinbasis Sockelstörungen auf; die östliche Salzstockreihe Wustrow-Gorleben-Rambow hingegen läßt keine Sockelstörungen erkennen. Dies bedeutet aber nicht, daß keine da sind (s.u.).

Die Abbildungen 8 und 9 (GAST 1988) zeigen das im Rotliegenden gebildete niedersächsische Riftsystem. Dieses bildet die Fortsetzung der Hessischen Senke und verbreitert sich zur Elbe hin fächerförmig. Rifting bezeichnet den Vorgang der Grabenbildung,

der durch das Zerreißen von kontinentaler und ozeanischer Kruste bewirkt wird. Die Salzstruktur Gorleben-Rambow folgt der östlichen Randverwerfung des im Rotliegenden eingebrochenen Wustrow-Grabens.

Die Grabenbildung steht im engen Zusammenhang mit dem Vulkanismus des Unterrotliegenden. Im Oberrotliegenden wurden die rasch absinkenden Gräben mit mächtigen Molasse-Sedimenten zugefüllt. Die meisten Bruchstörungen klingen in dieser Molasse aus. Einige davon wurden aber in jüngerer Zeit teilweise mehrfach reaktiviert (GAST 1988, KOCKEL 1989, 1990).

Die Abb. 8 zeigt mehrere Bruchstörungen, die das Riftsystem queren. Eine davon, das sogen. Oder-Elbe-Lineament, quert den Untergrund der Salzstruktur Gorleben-Rambow etwa in deren Mitte.

Die Abb. 10 (HOFFMANN 1990) läßt das Oder-Elbe-Lineament der Abb. 9 aus DDR-geologischer Sicht als eine "bedeutende Bruchstörung" der Rotliegendzeit erkennen. An diesen Bruchstörungen brachen im Unterrotliegenden große Lavamassen und Ignimbrite (vulkanische Schmelzmassen) bis zur Erdoberfläche durch und verwandelten Norddeutschland in eine Vulkanlandschaft (s. Abb. 8 und 11).

Nur etwa 15 km östlich der Salzstruktur Gorleben-Rambow wird das Oder-Elbe-Lineament vom Arendsee-Lineament gequert. Ihm sitzen der Salzstock Arendsee und in dessen Hangenden der mehrphasig eingebrochene Erdfall des 49,5 m tiefen Ahrendsees auf. Der Arendsee reicht gerade noch in die SE-Ecke der Abb. 3 hinein. Der letzte große Erdfall im Jahre 1685 n. Chr. ist historisch verbürgt.

Die Abb. 10 zeigt, daß am Arendsee-Lineament die variscische Deformationsfront linksseitig um 40 km nach Norden vorgeschoben wurde. Diese große Blattverschiebung wird durch eine Tiefbohrung zwischen Rambow und Parchim, die gefaltetes Oberkarbon erreichte, angedeutet (s. Abb. 11, FRANKE 1990 und ZIEGLER 1990).

Die Abb. 11 (E.P. MÜLLER 1990) zeigt einen geologischen Querschnitt mit Tiefbohrungen durch das Salinar-Becken des Oberrotliegenden und sein Liegendes bei Rambow. Man erkennt drei bemerkenswerte Erscheinungen: 1) Eine Verwerfungstreppe, an der die Vulkanite des Unterrotliegenden und der untere Teil der Molassesedimente des Oberrotliegenden unter dem Elbe-Urstromtal bei Rambow abgesenkt sind (Oder-Elbe-Lineament?). 2) Das am Arendsee-Lineament um 40 km nach Norden vorgeschobene, gefaltete Grundgebirge des Oberkarbons. 3) Einen Erdgasspeicher in den Sandsteinen des Oberrotliegenden bei Rambow (Kap. 7.1 u. 8.2).

Nach GAST (1988) handelt es sich bei den etwa W-E streichenden Querstörungen des niedersächsischen Riftsystems (s. Abb. 8) um Blattverschiebungen, die an der Wende Malm/Unterkreide und in der Oberkreide reaktiviert wurden. Dieses Querstörungssystem pauste sich mit Sprunghöhen von 100-300 m bis an die Basis der Salzstöcke Dannenberg, Gr.-Heide-Siemen u.a. durch (s. Abb. 7 u. 8).

Bei der Blattverschiebung des Arendsee-Lineamentes, die etwa parallel zur Salzstruktur Gorleben-Rambow verläuft, handelt es sich nach FRANKE (1990) um einen bedeutenden Tiefenbruch. Es ist nicht auszuschließen, daß auch unter der Salzstruktur Gorleben-Rambow eine Blattverschiebung als Sockelstörung verborgen ist, die nur wegen zu geringer vertikaler Sprunghöhe von den Salzstockflanken-Unterschießungen nicht erfaßt werden konnte.

Dem Leser der vorliegenden Studie stellen sich spätestens an dieser Stelle drei Fragen: 1) Warum hat das Gorleben-Forschungsmanagement den Wustrow-Graben und die vielen anderen von der deutschen Erdöl/Erdgasindustrie ermittelten Bruchstörungen des niedersächsischen Riftsystems sowie in den angrenzenden Gebieten der Altmark und der Prignitz ignoriert? 2) Warum hat es nicht versucht, zusätzlich zu den Salzstockflanken-Unterschießungen die noch ungelöste Frage nach einer Blattverschiebung unter der Salzstruktur Gorleben-Rambow mit Hilfe von 2-3 Tiefbohrungen bis an die Oberfläche des variscisch gefalteten Fundamentes geologisch zu beantworten? 3) Kann eine 250-300 Millionen

Jahre alte Sockelstörung unter dem Salzstock Gorleben oder in dessen näherer Umgebung die Standsicherheit des geplanten Endlagers oder seinen Abschluß von der Biosphäre überhaupt beeinträchtigen?

Die Fragen 1 und 2 werden hiermit zuständigkeitshalber an das Gorleben-Forschungsmanagement weitergeleitet. Die Antwort auf die dritte Frage lautet: Nein, es sei denn, diese Störungen sind in jüngerer Zeit reaktiviert worden, haben die Salzstockbildung gesteuert und leben bis in die Gegenwart fort. Die Zusammenhänge zwischen Tektonik und Salzstockbildung werden im Kap. 3.2 und 3.3 erörtert, diejenigen zwischen Tektonik und Erdbeben im nachfolgenden Kapitel.

Abb. 7: Übersichtskarte der salz- und bruchtektonischen Strukturen in der weiteren Umgebung der Salzstruktur Gorleben-Rambow. Nach BGR (1991, US-Nr. 0038).

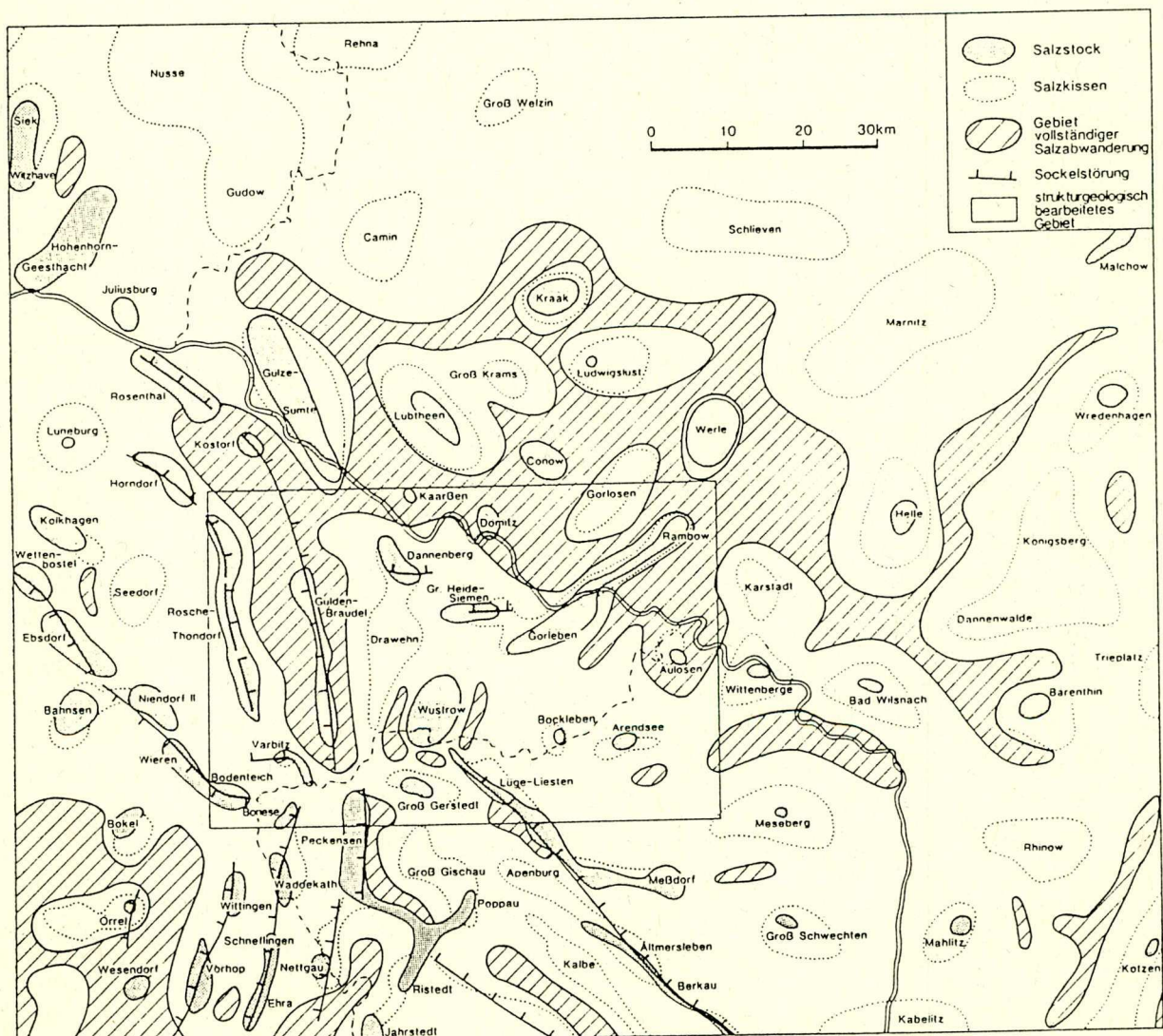


Abb. 8: Das fächerförmige niedersächsische Riftsystem der Rotliegendzeit mit einer Vielzahl von tektonischen Gräben. Der Salzstock Gorleben hat sich über der östlichen Randverwerfung des Wustrow-Grabens entwickelt. Nach GAST (1988).

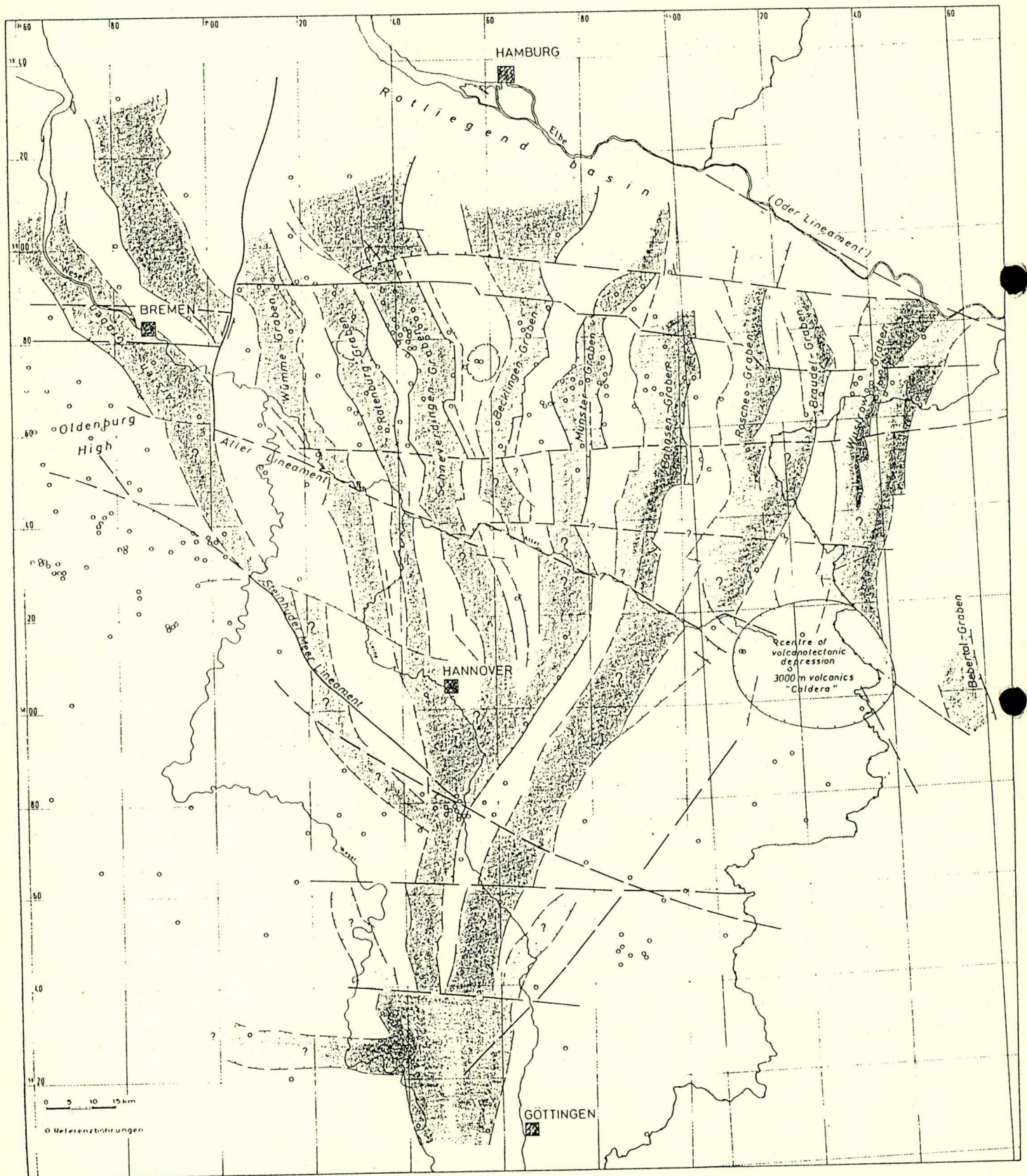


Abb. 9: Geologisches Querprofil durch das niedersächsische Riftsystem der Rotliegendzeit. Nach GAST (1988). Der Salzstock Gorleben hat sich über der östlichen Randverwerfung des Wustrow-Grabens entwickelt und liegt am Scharnier von zwei tektonischen Schollengrenzen: Pompeckjsche Scholle im Westen und Prignitz-Scholle (mit Salzwedel-Plattform) im Osten.

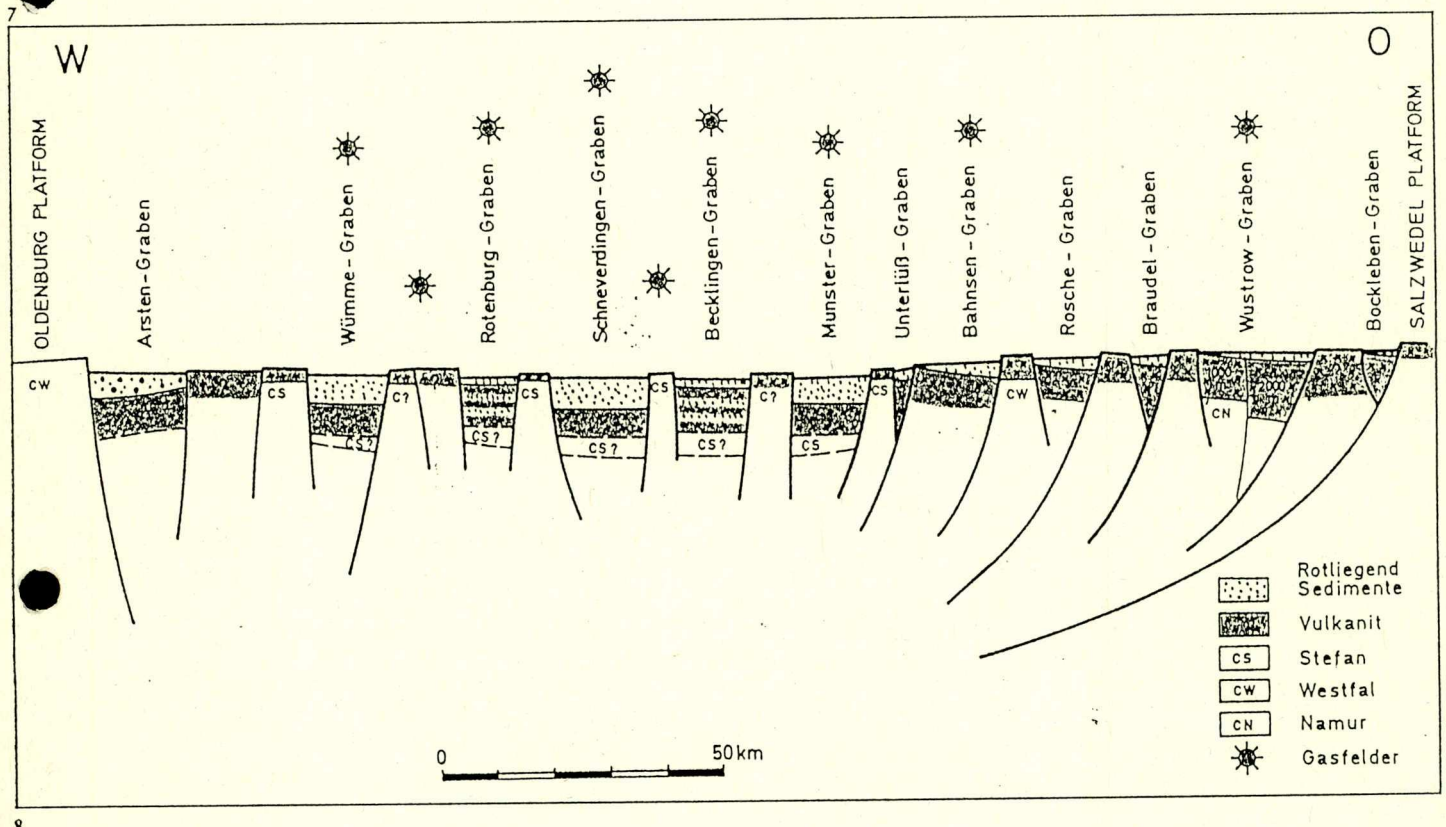
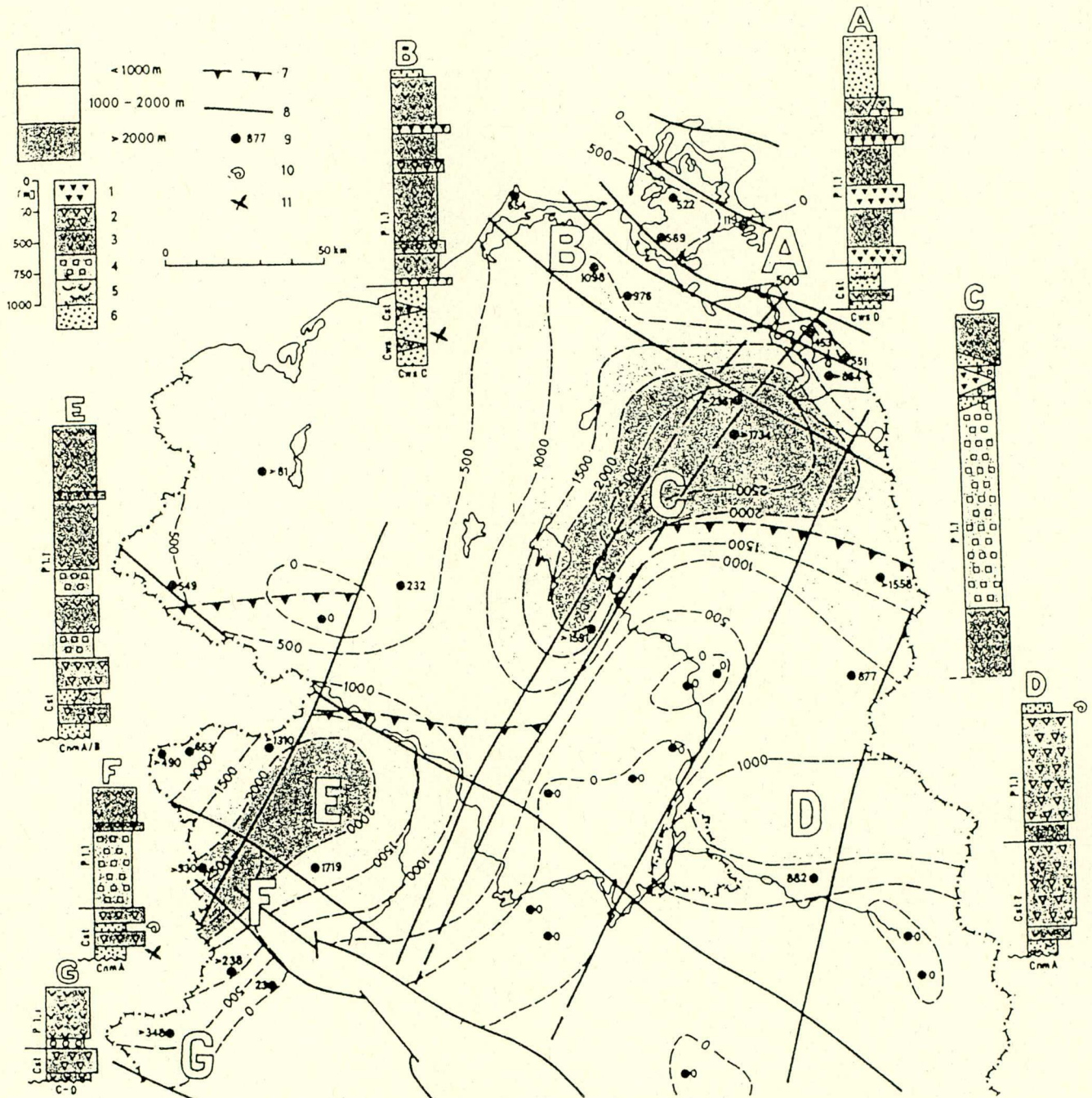


Abb. 10: Tektonisch-petrographische Übersichtskarte Norddeutschlands. Nach HOFFMANN (1990). Die Karte zeigt die Beziehungen zwischen dem Bau des Grundgebirges und der regionalen Verbreitung, Ausbildung und Mächtigkeit der stefanisch-unterrotliegenden Vulkangesteine. Die Salzstruktur Gorleben-Rambow wird an der Elbe vom Oder/Elbe-Lineament gequert. Die variscische Deformationsfront ist am Arendsee-Lineament linksseitig um 40 km nach Norden verschoben (Blattverschiebung).



- | | | |
|----------------------------|-----------------------------|--|
| 1 - Basaltoide, | 10 - faunistische Belege, | C - Rhyolithoid-Assoziation (Norddeutsches Massiv); |
| 2 - Andesitoide, | 11 - floristische Belege, | D - Andesitoid-Assoziation (variszisches Faltungsgebiet - Ostbrandenburg); |
| 3 - Rhyolithoide, | senkrechte Maßstabslei- | E/F/G - Rhyolithoid-Andesitoid-Assoziation (variszisches Faltungsgebiet - |
| 4 - Ignimbrite, | ste - Mächtigkeit der Pro- | Faltungsgebiet - |
| 5 - Tuffe, | filtypen. | E - Altmark/Westbrandenburg, |
| 6 - Sedimente | A - Basaltoid-Assoziation | F - Flechtinger Scholle, |
| (ungegliedert), | (Rügen-Pomorze-Ter- | G - Subherzyne Senke). |
| - Außenrand der variz- | rane); | P.1.1. - Unterrotliegendes (Autun), Cst - Stefan, CwsD - West- |
| ischen Faltungs- und Sta- | B - Rhyolithoid-Andesitoid- | fal D, CwsC - Westfal C, CnmB - Namur B, CnmA - |
| pelungstektonik, | (Basalt)-Assoziation | Namur A, C-B - Karbon bis Devon. |
| 8 - bedeutende Bruchstö- | (Übergangsbereich Rü- | |
| 8 - bedeutende Bruchstö- | gen-Pomorze-Terrane/ | |
| 9 - Tiefbohrung mit Angabe | Norddeutsches Massiv); | |
| der Vulkanit-Mächtigkeit, | | |

Abb. 11: Geologisches Profil durch das Rotliegend-Salinarbekken bei Rambow und sein Liegendes. Die Oberfläche der unterrotliegenden Vulkanitgesteine sinkt an einer Verwerfungstreppe unter dem Elbe-Urstromtal nach NE ab (Oder/Elbe-Lineament?). Die Verwerfungen klingen in den Hangendsedimenten des Oberrotliegenden aus. Die Tiefbohrung Pröttlin 1 zwischen Rambow und Parchim hat das längs des Arendsee-Lineamentes nach Norden vorgeschobene gefaltete Grundgebirge des Oberkarbons erreicht (s. Abb. 10). Die Tiefbohrung Rambow hat in der Molasse des Oberrotliegenden einen Erdgasspeicher angetroffen. Nach MÜLLER (1990).

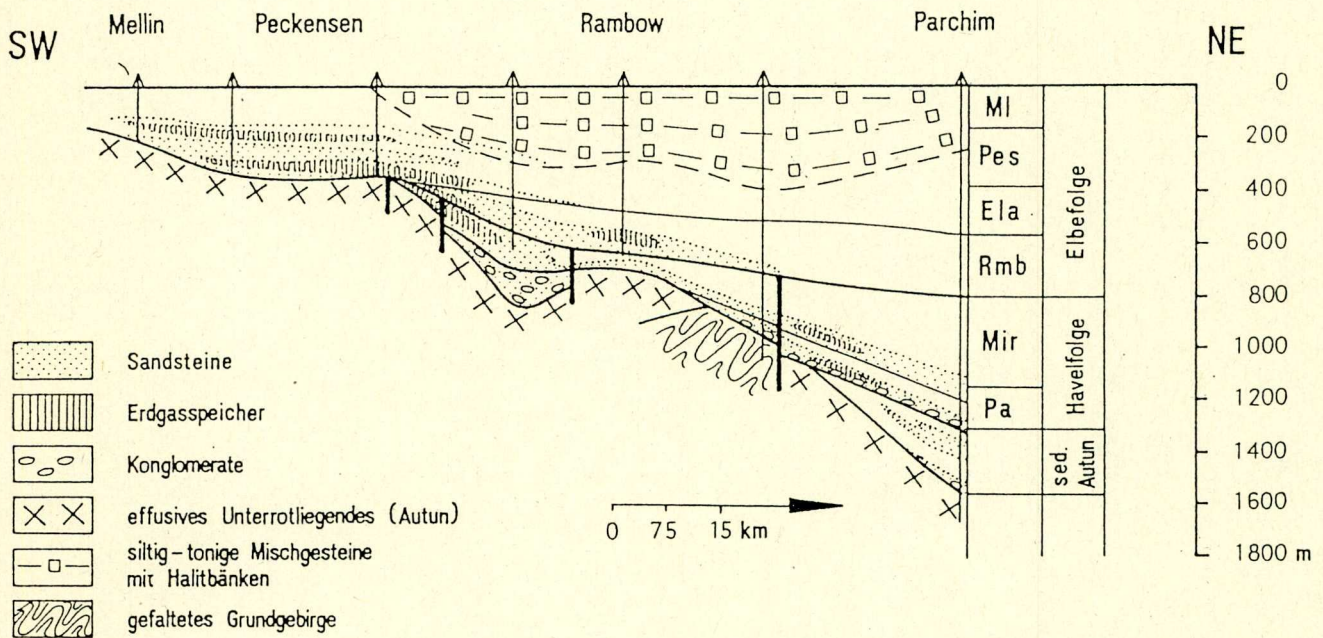
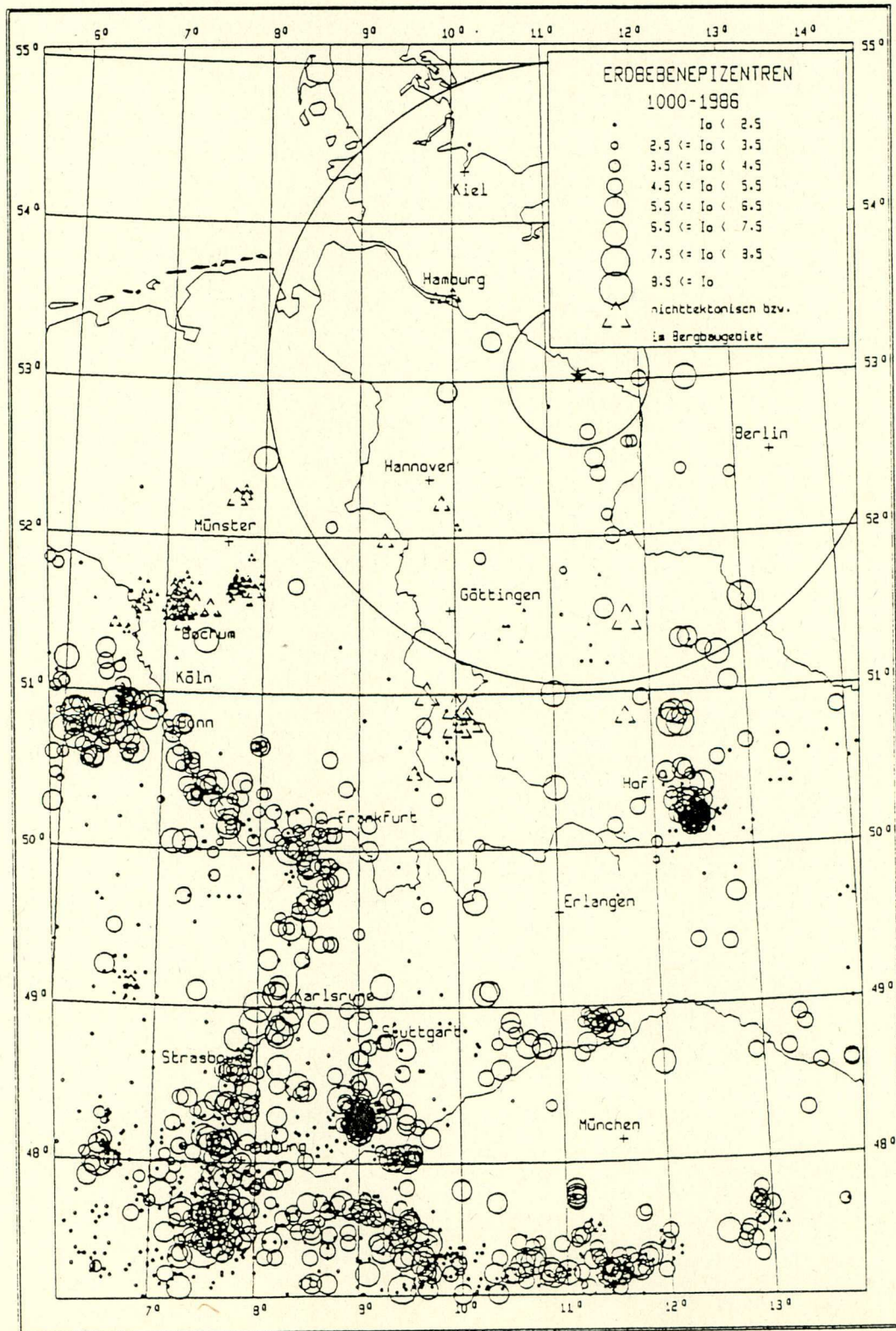
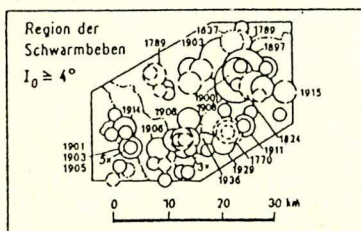


Abb. 12: Karte der Erdbeben-Epizentren für die Jahre 1000 bis 1986. Nach BGR (1991, S. 261, US-Nr. 0048). Angegeben sind die Epizentralintensitäten I_0 und die Radien der Kreisbögen um Gorleben mit den Auslegungs- und Sicherheitserdbeben (50 bzw. 220 km). Die Epizentren der Prignitz-Beben von 1410 und 1412 liegen auf 53° N östlich bzw. westlich des 50 km-Kreises.





Epizentralintensitäten

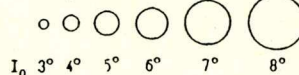
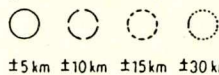
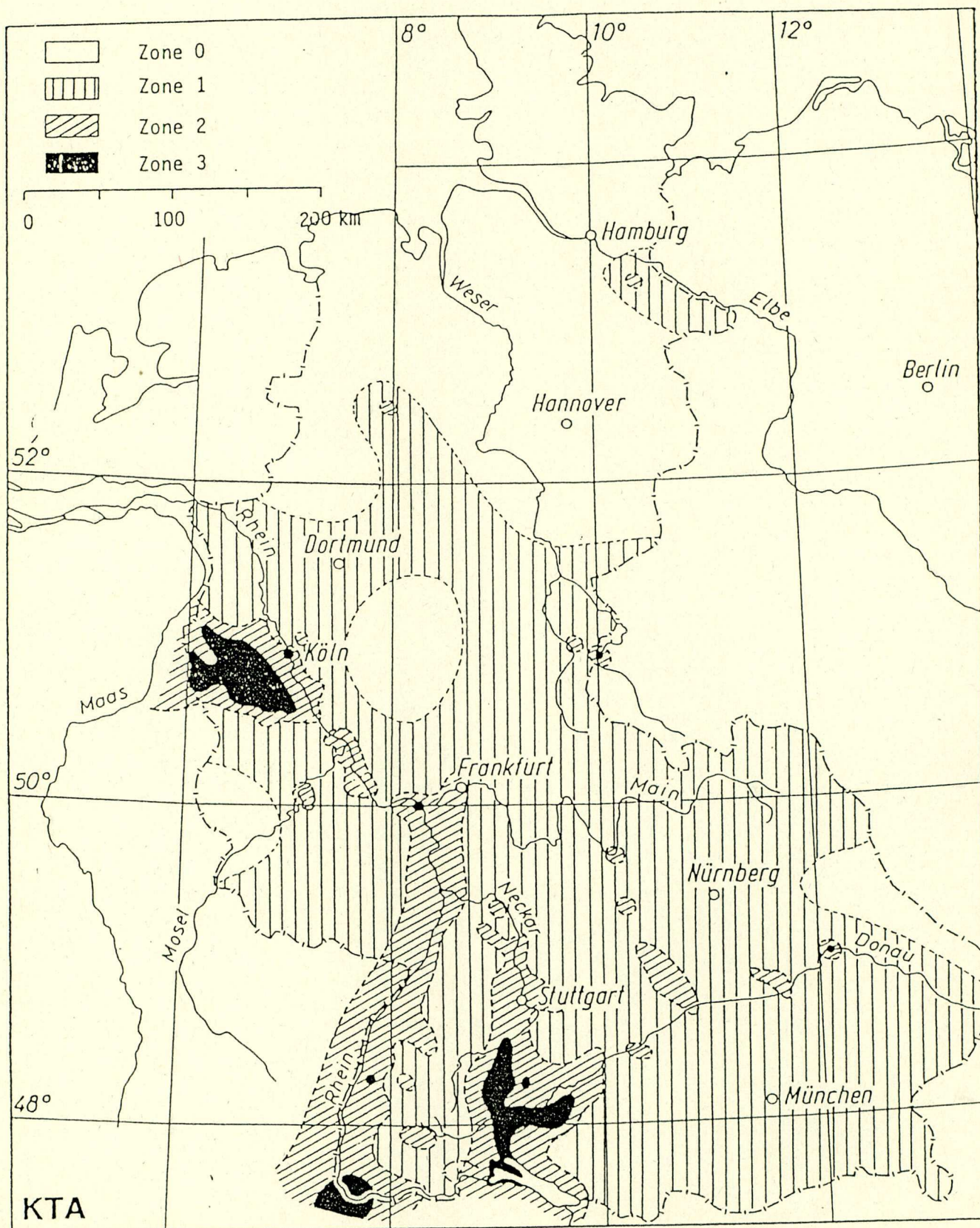


Abb. 14: Erdbebenzonen in der Bundesrepublik Deutschland.
Kerntechnischer Ausschuß (1975, 2201, Teil 1).



2.6 Erdbeben

Im Vergleich zu seismisch sehr aktiven Gebieten wie zum Beispiel der Rheinischen Erdbebenzone, über deren neotektonischen Verwerfungen das im Herbst 1988 vom Netz genommene Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich gebaut wurde (s. Abb. 1), ist die Erdbeben-tätigkeit in Norddeutschland sehr gering, aber sicherheits-technisch dennoch nicht vernachlässigbar (Abb. 12-14).

Die Seismizität der Umgebung der Salzstruktur Gorleben-Rambow wird seit Februar 1986 mit einem aus 6 Bohrlochstationen bestehenden digitalen Seismometernetz kontinuierlich überwacht. Die Auswertung der seismologischen BGR-Berichte (US-Nr. 0020, 0021, 0022, 0045, 0048) ergab, daß sich im Beobachtungszeit-raum weder tektonische Mikroerdbeben (unter der Fühlbarkeits-grenze) noch stärkere Erdbeben ereignet haben. Bei den 7 re-gistrierten mikroseismischen Aktivitäten im Raum Salzwedel handelt es sich vermutlich um Ereignisse, die durch Erdgas-förderung angeregt wurden. Die BGR (1991, S. 53, US-Nr. 0048) betont jedoch ausdrücklich, daß der mikroseismisch überwachte Beobachtungszeitraum zu kurz ist, um daraus jetzt schon be-lastbare Schlußfolgerungen hinsichtlich der tektonischen Ak-tivität ableiten zu können.

Nach den Ergebnissen der einen längeren Zeitraum erfassenden Mikroseismik sind einige der im tieferen Untergrund Norddeutsch-lands vorhandenen Bruchstörungen noch in der Gegenwart aktiv. Die fortdauernden Fließ- und Kriechbewegungen der einzelnen Schollen bleiben nicht ohne Reibungswiderstände. Werden diese Widerstände durch die ansetzenden Druck- oder Schubkräfte an irgendeiner Stelle überschritten, erfolgt ein Bruch, der sich über die blockierte Stelle ausbreitet. Auf beiden Seiten ver-schieben sich dann die beteiligten Gesteinsschollen ruckartig und setzen die gespeicherte mechanische Energie schlagartig in Form seismischer Wellen frei.

Das Erdbeben vom 2. Juni 1977 bei Soltau in der Lüneburger Heide, ca. 100 km vom Mittelpunkt der Salzstruktur Gorleben-Rambow (am Elbe-Mäander bei Lenzen) entfernt, war das erste im Norddeutschen Tiefland, das dort seit Beginn der instrumentellen Erdbebenregistrierung beobachtet wurde (LEYDECKER u.a. 1980). Dieses Erdbeben erreichte die makroseismische Intensität V-VI und hatte einen Schütterradius von 30 km. Hierzu LEYDECKER (1980, S. 552):

"Die aus den Seismogrammen gewonnenen Informationen wie Amplitudenspektren und Herdflächenlösung sind typisch für ein tektonisches Beben. Die beiden möglichen Verschiebungsflächen sind Schrägaufschiebungen mit vorherrschender horizontaler Bewegungskomponente. Die NNW-SSE streichende und steileinfallende Herdfläche läßt sich mit einer das Herdgebiet querenden und mehrere Kilometer tiefliegenden tektonischen Verwerfung korrelieren".

Die "horizontale Bewegungskomponente" und die "tektonische Verwerfung" wurden von mir unterstrichen, um mögliche Zusammenhänge zwischen den von den Endlagerfirmen in ihren US-Berichten vernachlässigten alten Verwerfungen, darunter auch den horizontalen Blattverschiebungen, und den rezenten Erdbeben herauszustellen.

Historische Quellen aus Deutschland erlauben eine Chronologie der Erdbebenaktivität, die bis in das frühe Mittelalter zurückreicht, mit zunehmendem Alter aber auch ungenauer wird. Somit umfassen die vom Kerntechnischen Ausschuß (KTA) vorgeschriebenen Bemessungserdbeben für die Auslegung von kerntechnischen Anlagen (s.u.) etwa die letzten tausend Jahre. Das norddeutsche "Jahrtausend-Erdbeben" fand im Jahre 1410 bzw. 1409 (Kap. 8.1) in der Prignitz statt. Hierzu zwei Zitate aus dem Erdbebenkatalog von SIEBERG (1940):

1410, August 23, gegen 22.00 Uhr. Erdbeben in der Mark Brandenburg, mit Herd in der Prignitz. Zu Wittstock erhielt der hohe Turm der Stadtkirche St. Martin auf der Nordseite einen großen, gefährlichen Riß. Auch in Havelberg zeigten sich geringe Gebäudeschäden. Gefühlt bis zur Ostsee bei Lübeck. In Magdeburg etwa IV-V, in Halle und anscheinend auch in Sachsen.

Diesem Erdbeben widmet ein gewisser Jaspar Sarnovius folgende, sicherlich stark übertriebenen Verse: "Anno Millesimo quater addito deno/Non prius hoc legi, Sabbatho di Bartholomäi,/ In noctis moram post undecimam fuit horam,/ Hic terrae motus, Alemannis undique notus/ Turres, Castra, Domos rumpendo, movendo, cadendo/ Sic perceptibilis, fortis et horribilis/ Per breve tempus erat quando sic appareat." Barthons Übersetzung derselben lautet. "Im Jahre 1410, früher habe ich es nicht gelesen, am Festtag des Bartholomäus, zur Nachtzeit nach der elften Stund, erfolgte dieses allen Deutschen wohlbekannte Erdbeben, das durch Zerbrechen, Erschüttern und Zusammenfallen von Türmen, Burgen und Häusern trotz der kurzen Dauer so fühlbar, stark und schrecklich wirkte".

1412, November 28. Abermals kräftiger Erdstoß in Havelberg und in der Prignitz.

LEYDECKER (1980, S. 552) interpretiert das schwerere der beiden Prignitz-Erdbeben ebenso als tektonisches Beben wie dasjenige von Soltau im Juni 1977. Hierzu das Zitat:

"Aufgrund der großen Fühlbarkeit von ca. 180 km und der beschriebenen Schäden in Wittstock und Havelberg dürfte das Beben in größeren Tiefen der Erdkruste gewesen sein. Zur Festlegung der Epizentralintensität hält SIEBERG die obigen Verse für ungeeignet, weil stark übertrieben. Diese seine Meinung dürfte auf seiner guten Kenntnis der

verfügbaren Chroniken beruhen. Denn ein derart zerstörendes Erdbeben müßte auch eine entsprechende Würdigung durch die Chronisten erfahren haben, insbesondere wegen der Seltenheit eines Bebens in dieser Gegend. Somit bleiben für die Klassifizierung dieses Erdbebens die weite Fühlbarkeit und die Schadenwirkung in Wittstock und Havelberg, die zur Intensität VII führen".

Nach neuen noch unveröffentlichten historischen Nachforschungen (R. MEIER, Potsdam: Vortrag über das Prignitz-Erdbeben auf der Jahrestagung 1993 der Arbeitsgemeinschaft Nordwestdeutscher Geologen in Kl.-Labenz bei Schwerin und G. GRÜNTAL, Potsdam, mündliche Mitteilung 1993) entfällt das schwächere Prignitz-Erdbeben von 1412 und das Schadenbeben vom 23. August 1410 hat bereits am 24. Oktober 1409 stattgefunden.

Zur Ermittlung der seismischen Gefährdung des Standortes sind gemäß der sicherheitstechnischen Regel des Kerntechnischen Ausschusses (KTA 2201, Teil 1) die Erdbeben im Umkreis von etwa 50 km bzw. von etwa 200 km um den Standort zu berücksichtigen. Hierzu der Kerntechnische Ausschuß:

"Wenn sich Epizentren oder Bereiche höchster Intensität von historisch berichteten Erdbeben in der gleichen tektonischen Einheit wie der Standort befinden, ist bei der Ermittlung der Beschleunigung am Standort anzunehmen, daß diese Erdbeben in der Nähe des Standortes eintreten".

Die beiden Bemessungserdbeben sind in der KTA-Regel folgendermaßen definiert:

"Das Auslegungserdbeben ist das Erdbeben mit der für den Standort größten Intensität, das unter Berücksichtigung einer näheren Umgebung des Standortes (in derselben seismotektonischen Einheit bis etwa 50 km Entfernung vom Standort) in der Vergangenheit aufgetreten ist.

Das Sicherheitserdbeben ist das Erdbeben mit der für den Standort größten Intensität, das unter Berücksichtigung einer größeren Umgebung des Standortes (bis etwa 200 km vom Standort) nach wissenschaftlichen Erkenntnissen auftreten kann".

Die sicherheitstechnische Regel des KTA wurde auch für das geplante Endlager Gorleben übernommen. Die Bemessungserdbeben und ihre Parameter sind im seismologischen Gutachten Gorleben ermittelt worden (AHORNER 1989, US-Nr. 0013). Sicherheitsseismologisches Fazit der BGR (1990, S. 349, US-Nr. 0048):

"Die Bewertung der Seismizität der weiteren Umgebung ergab für den Standort ein Auslegungserdbeben der Intensität V 1/2, das keine Gefahr für Gebäude darstellt und ein Sicherheitserdbeben der Intensität VII 3/10".

Als Auslegungserdbeben (größte Entfernung vom Standort etwa 50 km) dienen ein Beben in der Altmark und das Prignitz-Beben von 1412 (Abb. 12). Letzteres hat nach dem derzeitigen Kenntnisstand gar nicht stattgefunden (s.o.).

Als Sicherheitserdbeben dient das um zwei Intensitätsstufen höher eingeordnete Prignitz-Beben von 1410 bzw. 1409. Hierzu die BGR (1991, S. 260, US-Nr. 0048):

"Das für die Festlegung des Sicherheitserdbeben wichtigste Ereignis ist das tektonische Schadenbeben aus dem Jahre 1410 mit der Intensität VII und einer Herdtiefe von ca. 15 km. Sein Herdgebiet lag in der Prignitz, etwa 75 km vom Standort entfernt. Epizentrum und Standort gehören der gleichen erdbebengeographischen Einheit "Nord-deutsches Tiefland" an (AHORNER u.a. 1970). Es muß davon ausgegangen werden, daß sich ein vergleichbares Ereignis auf einer der bekannten subsalinaren Störungszonen in der Umgebung des Standortes ereignen kann. Es wird deshalb

unterstellt, daß ein Erdbeben, ähnlich demjenigen von 1410, in der dem Standort nächstliegenden und ca. 6 km nordwestlich entfernten Sockelstörung unterhalb des Salzstockes Gr.-Heide-Siemen auftritt".

Die zitierten Aussagen und US-Berichte lassen eine solche Vielzahl von gravierenden tektonischen und seismologischen Ermittlungs- und Bewertungsdefiziten erkennen, daß es, um Wiederholungen zu vermeiden, sinnvoll erscheint, diese Defizite nur im hierfür vorgesehenen Kap. 8 aufzulisten.

3. Salzstock Gorleben

Der geologische Kenntnisstand ist in vielen US-Berichten und Publikationen dargestellt und wird hier für die übersichtsmäßige Kurzdarstellung übernommen. Die von den Endlagergremien ignorierte Fachliteratur des letzten Jahrzehntes (Berichtszeitraum) wird - wie schon im Kap. 2 - bei den Zitaten unterstrichen.

3.1 Stratigraphie

Im Raum Gorleben-Rambow sind Schichten vom Namur (unteres Oberkarbon) bis zum Holozän bekannt, jedoch fehlen u.a. die jüngeren Schichten des Oberkarbons (Westfal, Stefan), Teile des Mittleren Buntsandsteines und des Malms, ferner Unterpaläozän, Obermiozän, Pliozän und das gesamte Altpleistozän bis zum Menap. Das Liegende des Salzstockes und seine ältesten Schichten selbst sind nur aus einer Erdöl-Aufschlußbohrung bekannt (s.u.).

3.1.1 Oberkarbon

Die ältesten in der Umgebung erbohrten Gesteine gehören in das Oberkarbon, sind also etwa 296-325 Millionen Jahre alt (Tab. 1). Etwa 15 km südwestlich von Gorleben erreichte die Bohrung Wustrow Z1 unter dem Salzstock Wustrow bei 4946 m in variscisch gefalteten Ton- und Sandsteinen des Namurs die Endteufe. Das gefaltete Oberkarbon wurde auch in der Tiefbohrung Pröttlin 1 zwischen Rambow und Parchim erreicht (Abb. 11).

3.1.2 Rotliegendes

Im Rotliegenden (vor ca. 260-296 Mio. Jahren) fielen im Anschluß an die variscische Gebirgsbildung, bei der die deutschen Mittelgebirge und auch der tiefe Untergrund des Salzstockes Gorleben gefaltet wurden, weite Gebiete trocken, die vorher vom Meer bedeckt waren. Im Unterrotliegenden brachen im Gefolge der variscischen Gebirgsbildung auf den Tiefenbrüchen große Lavamassen und Ignimbrite (Schmelztuffe) bis zur Erdoberfläche durch. Norddeutschland einschließlich des Raumes Gorleben war eine Vulkanlandschaft (Abb. 8-11). In der Bohrung Sellien, etwa 35 km nordwestlich von Gorleben, erreichen diese hauptsächlich porphyrischen Vulkanite eine Mächtigkeit von 720 m, in der Altmark südöstlich von Gorleben von fast 2500 m (HARFF u.a. 1990) und in einem Vulkankrater (Caldera) am Süden des Wustrow-Grabens, dem der Salzstock Gorleben aufsitzt, sogar von über 3000 m (GAST 1988, s. Abb. 8).

Im Oberrotliegenden wurden die Vulkangesteine vom Abtragungsschutt des variscischen Gebirges überlagert. Bei aridem Klima transportierten Wadi-Flüsse rotverwitterte Kiese, Sande und Tone heran. Diese Molasse-Sedimente erreichen im Raum Gorleben-Rambow eine Gesamtmächtigkeit von etwa 750 m, im Schweriner und im Lübecker Becken sogar von über 2000 m (LINDERT u.a.

1990, GEBHARDT u.a. 1991). Wüstenstürme lagerten große Flugsanddecken ab. Die Ton- und Feinsandsteine verzahnen sich im Raum Gorleben-Wustrow-Peckensen mit Steinsalz-Flözen eines kontinentalen Salzsees (s. Abb. 11), der über das Unterelbe-Gebiet bis in das südliche Nordsee-Becken gereicht und nach PLEIN (1978) etwa die Größe des Kaspi-Sees besessen hat.

Bei Wustrow wird seit 1976 aus Sandsteinen des Oberrotliegenden Stickstoff-Erdgas gefördert, ebenso in der angrenzenden Altmark (MÜLLER 1990). Die Endlagergremien nehmen in ihren stratigraphischen Kapiteln bei der Beschreibung des tiefen Untergrundes mehrfach Bezug auf die 4946 m tiefe Bohrung Wustrow Z1, aber nicht auf die 3658 m tiefe Erdöl-Aufschlußbohrung Gorleben Z1. Diese wurde 1957 von der Gewerkschaft Brigitta an der NW-Flanke des Salzstockes Gorleben 1 km südlich von Dünsche niedergebracht. Bohrkoordinaten: Meßtischblatt Nr. 2933, R = 4451045, H = 5876310 (s. Abb. 16).

Nach KÜHNE (1958) erreichte diese Bohrung die Grenze Rotliegendes-Zechstein bei einer Teufe von 3131 m. Dann wurde noch bis zur Endteufe von 3658 m in das Rotliegende hineingebohrt. Dessen Sedimentgesteine bestehen laut Schichtenverzeichnis der Gewerkschaft Brigitta aus einer Wechsellagerung von teilweise mergeligen Ton-, Schluff- und Feinsandsteinen mit sehr geringmächtigen Lagen von Steinsalz und Anhydrit. Die Bohrung traf 9 m über der Endteufe im Feinsandstein einen Erdgasspeicher an und mußte aus technischen Gründen abgebrochen werden (Kap. 7.1).

3.1.3 Zechstein

Im Zechstein eroberte sich das Meer von der Nordsee kommend einen großen Teil des Festlandes zurück und stieß im südlichen Ostseeraum bis nach Riga, Ostpreußen und Warschau vor (Abb. 15). Bei subtropischen Klimaverhältnissen mit starker

Verdunstung trocknete das norddeutsche Zechstein-Meer vor etwa 250-260 Millionen Jahren mehrmals aus. Dabei fielen die im Wasser gelösten Karbonate und Salze in der Reihenfolge ihrer Löslichkeit aus: Nach dem Absatz von Ton zuerst Kalk und Dolomit, dann Anhydrit bzw. Gips, dann Steinsalz und zuletzt die Kalisalze.

Dieser zyklische Vorgang wiederholte sich im Raum Gorleben insgesamt vier- bis fünfmal. Allerdings liefen die salinar-petrographischen Zyklen nicht immer vollständig ab. Der Zechstein 2 (Staßfurt-Folge) und der Zechstein 3 (Leine-Folge) sind am vollständigsten und mächtigsten entwickelt (Tab. 3). Daher sind die Steinsalzpartien dieser beiden Folgen auch als Endlagergesteine vorgesehen (Kap. 7.2).

Die Rekonstruktion der primären Zechsteinmächtigkeit im Salzstock ergab Werte zwischen 1150 m und 1400 m. Die Mächtigkeiten sind sehr ungleichmäßig auf die 5 Zechstein-Folgen verteilt (BfS 1990, US-Nr. 0026):

Ohre-Folge	: Ca. 10 m
Aller-Folge	: Ca. 60 m
Leine-Folge	: Ca. 320 m
Staßfurt-Folge	: Ca. 700-950 m
Werra-Folge	: Ca. 60 m.

Die stratigraphische Tabelle 2 beginnt mit dem Älteren Steinsalz bzw. Hauptsalz der Staßfurt-Folge, das heißt, mit den ältesten salinaren Schichten des Zechsteines, die bei der übertägigen Standorterkundung erbohrt wurden. Es fehlen der untere Teil der Staßfurt-Folge und die gesamte Werra-Folge.

Diese älteren Schichten des Salzstockes wurden bisher nur von der o.g. Erdöl-Aufschlußbohrung Gorleben Z1 durchörtert. Es ist unverständlich, daß bei den zusammenfassenden geologischen US-Berichten der BGR (1991, US-Nr. 0038) und der BfS (1990,

US-Nr. 0026 und 1991, US-Nr. 0049) die stratigraphischen Kapitel diese wichtige Tiefbohrung nicht berücksichtigen, obwohl in der stratigraphisch vernachlässigten Schichtenfolge die Muttergesteine für das Erdgas bzw. die Kohlenwasserstoff-Kondensate im oberen Teil des Salzstockes zu suchen sind (Kap. 7.1).

Die lithostratigraphische Gliederung (s. Tab. 2) und der bisher nur exemplarisch bekannte Stoffbestand des Gorlebener Zechsteines (s. Parallel-Gutachten HERRMANN & KNIPPING) entsprechen weitgehend denen im hannoverschen Kalisalz-Bergbau-revier. Die Unterschiede beziehen sich vor allem auf einige Mächtigkeiten. So ist der beim Endlagerbergbau zu meidende Hauptanhydrit im Salzstock Gorleben mit etwa 70 m doppelt so mächtig wie bei Hannover. Das carnallitische Kaliflöz Staßfurt, das beim Endlagerbergbau ebenfalls gemieden werden muß, ist im Raum Gorleben-Wustrow Mächtigkeitsschwankungen bis zu 200 m unterworfen. Das Staßfurt-Steinsalz, welches das Endlager für die hochradioaktiven Abfälle aufnehmen soll, liegt infolge seiner starken Durchbewegung beim diapirischen Aufstieg als tektonische Brekzie mit mehr oder weniger stark verminderter Mächtigkeit vor (s. Kap. 7.2).

3.1.4 Mesozoikum

Die Gesteine der Trias, des Jura und der Kreidezeit (s. Tab. 1) treten im Nebengebirge des Salzstockes Gorleben in norddeutscher Normalausbildung auf. Es handelt sich hauptsächlich um Meeresablagerungen (Kalk- und Mergelsteine sowie Sand-, Schluff- und Tonsteine).

Verbreitung, Mächtigkeit und Lagerungsverhältnisse der mesozoischen (und tertiären) Schichten sind nach den Bohrbefunden

und der Reflexionsseismik überwiegend durch den Salzaufstieg und die Entwicklung der ebenfalls salztektonisch angelegten und beispielhaft ausgebildeten Randsenken im Nordwesten und Südosten geprägt. Die Schichten von der höheren Trias bis zum Dogger kennzeichnen die primären, die der Kreide, des Tertiärs und Altquartärs die sekundären Randsenken des Salzstockes (s. Kap. 3.2 u. 4).

3.2 Salztektonik

Salztektonik bzw. Halotektonik ist eine "allgemeine Bezeichnung für tektonische Strukturen und Vorgänge, an deren Ausgestaltung das Salz ursächlich oder doch maßgeblich beteiligt ist" (MURAWSKI 1983). Tektonik ist die Lehre vom Bau der Erdkruste und von den Bewegungen und Kräften, die im Erdmantel und in der tieferen Erdkruste entstehen und diesen Bau erzeugen. Andererseits können Salzgesteine im Untergrund aber auch ohne tektonischen Impuls, nur unter dem Einfluß der Schwerkraft, zum Fließen bzw. Kriechen gebracht werden. In diesem Falle spricht man von Halokinese (TRUSHEIM 1957). Bei den meisten norddeutschen Salzstöcken läßt sich jedoch - im Gegensatz zur Auffassung von JARITZ (1979, 1980) - ein Zusammenwirken von Halotektonik und Halokinese erkennen (s.u.).

Bei erhöhten Drucken und Temperaturen werden vor allem das Steinsalz und die Kalisalze plastisch und fließfähig. Solche Druck- und Temperaturbedingungen wurden in Norddeutschland durch die Überdeckung von Salzen mit spezifisch schwereren Sedimentgesteinen erreicht. Allerdings fließt das Salz im Untergrund mit etwa 0,01-0,5 mm pro Jahr so langsam, daß es sich im allgemeinen nur in geologischen Zeiträumen bemerkbar macht.

In Norddeutschland gibt es über 400 Salzstrukturen verschiedener Kategorien (Abb. 2). Viele von ihnen, z.B. in der Prignitz (Abb. 7), sind mangels Nachschub zur Ruhe gekommen. Bei

anderen, und dazu gehört auch der designierte Endlagersalzstock Gorleben, dauern aber Salzaufstieg und Salzablaugung bis zur Gegenwart an. Insgesamt lassen sich die Salzwanderungen im Untergrunde Norddeutschlands in vier geologische Hauptstadien gliedern (s. Abb. 18):

1) Zunächst weicht das Salz unter hohem Belastungsdruck des Deckgebirges seitlich aus. Infolge des Massenschwundes sackt das Deckgebirge nach; es entsteht eine primäre Randsenke. Deren Absenkung wird durch verstärkte Sedimentation an der Erdoberfläche ausgeglichen. 2) Das seitlich ausgewanderte Salz häuft sich zunächst in einer flachen weitspannigen Aufwölbung, einem sogenannten Salzkissen an (s. Abb. 18, links). Dieses braucht nach TALBOT & JACKSON (1987) zu seiner Bildung mindestens 20 Millionen Jahre. 3) Sobald das Salzkissen eine Höhe von 500-2500 m überschreitet und einen tektonischen Impuls erhält, der mit Klüften oder Verwerfungen eine Wegsamkeit nach oben öffnet, verengt es sich, der Salzaufstieg wird beschleunigt und aus dem Salzkissen entsteht ein Salzstock von rundlichem oder ovalem Grundriß (s. Abb. 18, Mitte). 4) Dauert der Nachschub von unten weiter an, können sich mehrere Einzelsalzstöcke zu bis über 100 km langen Salzmauern zusammenschließen (s. Abb. 18, rechts). Die primären Randsenken zwischen den Salzstöcken verbreitern und vertiefen sich. Ihre Muldenachsen rücken näher an den Salzstock heran. Aus der primären Randsenke entsteht eine sekundäre.

Beim Salzaufstieg wird das Deckgebirge wie von einer Riesenfaust emporgehoben, beiseitegedrückt und an den Salzstockflanken steil aufgeschleppt. Sobald der Salzstock jedoch in den Grundwasserbereich gerät, wird er von oben her aufgelöst. Er wird gewissermaßen vom Grundwasser enthauptet (Salzablaugung bzw. Subrosion). Dabei erhält der Salzstock seinen Gipshut, ein Rückstandsgebirge aus schwer und unlöslichen Gesteinen. An den Flanken kann er einen Ringwall bzw. Hebungs Kranz aus mitaufgeschlepptem Nebengebirge erhalten (s. Abb. 11). Die

Grenze zwischen dem Gipshut und dem unversehrten Salzstock wird als Salzspiegel bezeichnet. Lagerungsstörungen, die durch Salzablaugung entstehen, gehören nicht zur Salztektonik.

Schließlich kann der Salzstock, wie z.B. in Lüneburg in der Gegenwart oder in Gorleben zuerst vor etwa 140 Millionen Jahren und zuletzt vor 970.000-1 Million Jahren (Kap. 3.3) sogar das Deckgebirge durchstoßen und die Erdoberfläche erreichen. In diesem Falle spricht man von einem Diapir, nach griechisch diapeirein=durchstoßen.

Der Salztektonik bzw. den Salzstöcken verdankt das nordöstliche Niedersachsen zwei wirtschaftliche Blütezeiten: 1) Lüneburg, die Salzstadt Heinrichs des Löwen, war im Mittelalter geradezu ein Synonym für Salz, Reichtum und Macht. 2) Im Salzstock Wustrow ging von 1906 bis 1926 in drei Schächten Bergbau um. Gefördert wurden Stein- und Kalisalz der Staßfurt-Folge. Düngekali wurde bis nach Amerika transportiert. Das Werk hatte eine Belegschaft von etwa 1000 Arbeitern (STÜTZER 1984).

Über Ursache und Verlauf der Bildung von Salzstöcken, speziell über den Anteil tektonischer Impulse hat es schon vor sechs bis sieben Jahrzehnten eine lebhaftete Diskussion gegeben. Unter der wissenschaftlichen Autorität des Altmeisters STILLE dominierte danach die Phasenlehre der Halotektonik. Vor einem Vierteljahrhundert schlug das Pendel jedoch zugunsten der Halokinetiker aus. JARITZ (1980, S. 523) glaubte die jahrzehntelange Diskussion mit der Feststellung beendet zu haben,

"daß es durchaus tektonische Mitwirkung beim Diapirismus (d.h. beim Durchbrechen der Salzstöcke) gab, daß dies aber nicht für die Pompeckjsche Scholle, zu der auch die Umgebung von Gorleben gehört, zutrifft".

Diese Feststellung war schon seinerzeit nicht ganz verständlich, denn die Abb. 19, eine Statistik des Diapirismus in NW-Deutschland von JARITZ (1973), zeigt zwei Maxima bzw. Höhepunkte des Diapirismus, die an tektonische Phasen gebunden sind: Auf der Pompeckjschen Scholle im Keuper und auf der Niedersächsischen Scholle in der Oberkreidezeit.

Inzwischen hat die elektronische Datenverarbeitung die Möglichkeit eröffnet, mit Hilfe digitaleismischer Verfahren die Methoden der Signalfilterung und -analyse so weit zu treiben, daß auch aus großen Tiefen schwache Wellenreflexionen noch zuverlässig erfaßt werden können. Auf dieser Grundlage ist das wissenschaftshistorische Pendel wieder zur Dominanz der phasenhaften tektonischen und salztektonischen Aktivitäten und Zusammenhänge zurückgeschwungen. JARITZ (1992, S. 17) formuliert es noch deutlicher:

"In jüngster Zeit hat KOCKEL (1990) deutlich antihalokinetisch Stellung bezogen".

Insbesondere die Forschungsergebnisse der Arbeitsgruppe der BGR für den "Geotektonischen Atlas von Nordwestdeutschland 1:100.000" (KOCKEL 1989, S. 53) bestätigen die klassische Auffassung,

"daß die Hauptausformung der Strukturen während relativ kurzer, zeitlich genau zu umreißen Perioden geologischer Unruhe erfolgte: Im Unter- und tiefsten Oberrotliegenden (s. Kap.2.5), im Mittleren Buntsandstein vor der Solling-Diskordanz, im Mittleren Keuper, im Obermalm und Apt und im Coniac bis Untercampan. Die meisten Strukturen sind über paläozoisch angelegten, sich im Verlauf der Erdgeschichte mehrmals vertikal und horizontal unterschiedlich bewegend Sockelschollengrenzen gebunden, die die NNE-, die WNW- und die NNW-Richtung belegen. Die Schollengrenzen, die diesen Richtungen folgen, wurden während der verschiedenen Bewegungsepochen unterschiedlich bevorzugt".

Inzwischen räumt auch JARITZ (1992, S. 23) ein:

"Der Beginn der Strukturentwicklung erfolgte bei etwa zwei Drittel der über 300 Salzstrukturen durch einen tektonischen Anstoß, bei etwa einem Drittel dagegen halokinetisch."

Zur Begründung führt JARITZ an (1992, S. 21):

"Als Argument für tektonisch ausgelösten Diapirismus darf vor allem die Gleichzeitigkeit des Durchbruches von Salzmauern bzw. von aufgereihten Salzstöcken gelten".

Wenn er diese seine eigene Definition ernstnähme, dann müßte er auch für den diapirischen Aufstieg der Salzstrukturkette Wustrow-Gorleben-Rambow-Werle (Abb. 7) einen tektonischen Impuls annehmen. Er kann aber noch nicht ganz über seinen halokinetischen Schatten springen. Hierzu JARITZ selbst (1992, S. 22):

"Der zur gleichen Zeit erfolgte Durchbruch von vier Salzstöcken im Hannoverschen Wendland (Dannenberg, Gr.-Heide-Siemen, Wustrow, Gorleben) und des Salzstockes Rambow aus einem gemeinsamen Salzkissenkomplex erfolgte wahrscheinlich halokinetisch, jedoch ist die Bedeutung von nicht datierbaren Störungen unter den Salzstöcken Dannenberg und Gr.-Heide-Siemen ungeklärt".

Fazit: Die Endlagergremien sind verunsichert und widersprechen sich hinsichtlich des tektonischen Anteiles beim diapirischen Aufstieg der Salzstruktur Gorleben-Rambow in der Zeitspanne Malm-tiefere Unterkreide selbst. Außerdem sind ihre beim MU eingereichten US-Berichte (Stand 15.6.1993) auch bei der Salztektonik nicht "up to date". Die Erkenntnisse der BGR-Arbeitsgruppe für den Geotektonischen Atlas von Nordwestdeutschland 1:100.000 (KOCKEL 1989, 1990) werden darin ebenso ignoriert wie der oben zitierte "halokinetische Zweidrittel-Rückzieher" von JARITZ (1992).

3.3 Entwicklungsgeschichte

Die ersten Hinweise auf die Bildung eines Salzkissens bei Gorleben beziehen sich auf die Zeit des Oberen Buntsandsteines und Muschelkalkes. Im Keuper, Lias und Dogger baute sich ein großes Salzkissen auf. Im Malm bis Unterkreide, vor ca. 140 Millionen Jahren, brach der Salzstock als Diapir durch und in der Oberkreide erhielt er seinen großen Überhang an der SE-Flanke (Abb. 20-22). Beide Vorgänge entsprechen zeitlich zwei bedeutenden tektonischen Phasen (GAST 1988 und KOCKEL 1989).

Beim Salzstock Rambow deuten Schichtlücken im Buntsandstein und Ablaugungsvorgänge im Muschelkalk-Salinar ebenfalls auf eine Aufbeulung der Deckschichten infolge von Salzbewegungen und früher Salzkissenbildung hin (ALTHEN u.a. 1980, RUSBÜLT & SEEGER 1980, SCHÜLER 1980, TRUSHEIM 1961). Wie bei Gorleben, so hatte sich auch bei Rambow bereits im Keuper ein großes gemeinsames Salzkissen aufgebaut, und wie bei Gorleben begann der diapirische Hauptaufstieg des Salzstockes auch dort an der Wende Malm-Wealden (MEINHOLD & REINHARDT 1967).

Somit verlief die salztektonische und strukturelle Entwicklung des Zwillingsalzstockes Gorleben-Rambow von der gemeinsamen "geologischen Geburt" im Salzkissen-Stadium des Buntsandsteines zumindest bis zur Reifezeit des diapirischen Hauptaufstieges vom Malm bis zur Unterkreide weitgehend einheitlich und konform. Das Projekt Gorleben-Nord wird zeigen, ob Differenzierungen der Salzablaugung und der Sedimentation der tertiären und quartären Deckschichten auf dem Salzstockdach, wie sie für den Salzstock Gorleben charakteristisch sind (BGR 1991, US-Nr. 0048, BGR 1991, US-Nr. 0039, DUPHORN 1983, US-Nr. 0052), auch beim Salzstock Rambow in Erscheinung treten.

Beim diapirischen Salzaufstieg des Salzstockes Gorleben wurden die Schichten des Deckgebirges aufgebault und die Schichten des Nebengebirges an den Salzstockflanken mit aufgeschleppt.

In den bis auf 30 m unter Gelände aufgeschleppten Tertiär-schichten wurden in Bohrkernen Einfallwinkel bis 45° gemessen (DUPHORN 1983, US-Nr. 0052). Die aufgeschleppten Tertiär-tone bilden rings um den im oberen Teil abgelaugten Salzstock einen teilweise von der elstereiszeitlichen Tiefenerosion zerschnittenen und unterbrochenen halotektonischen Ringwall bzw. Hebungs Kranz. Gegenläufig wurde die Tertiärbasis in den beiden flankierenden Randsenken bis auf Tiefen von etwa 780 m im SE bzw. 1150 m im NE abgesenkt (BfS 1990, US-Nr. 0026).

Mit Hilfe der Randsenkenmethode konnte die Entwicklungsgeschichte des Salzstockes Gorleben hinsichtlich der Massenwanderungen des Salzes quantitativ abgeschätzt werden (BGR 1991, US-Nr. 0038). Danach sind von den primär etwa 1400 m mächtigen Zechsteinsalzen 52 % in den Salzstock gewandert. Etwa 248 km^3 Salz, das sind etwa 47 % des ursprünglich vorhandenen Zechsteinsalzes, stiegen bis zur Erdoberfläche auf und wurden abgelaugt bzw. erodiert. Die Salzfließgeschwindigkeiten betrugen maximal 0,14 mm/Jahr während der Oberkreide, aber nur 0,03 mm/Jahr im Miozän-Quartär. Diese führten zu einer Hebung der Salzstockoberfläche von 0,08 mm/Jahr (Oberkreide) bzw. 0,02 mm/Jahr (Miozän-Quartär). Insgesamt stiegen ca. 248 km^3 Salz bis zur Erdoberfläche auf und wurden abgelaugt bzw. erodiert.

Die Randsenkenanalyse wurde sorgfältig durchgeführt. Aus quartärgeologischer Sicht - und diese gilt für den von PTB/BfS vorgegebenen geologischen Bewertungszeitraum der letzten 1 Million Jahre (s. Kap. 5) - gibt es aber dennoch zwei Einwände:

1) Die Salzbewegungen im Obermiozän, Pliozän und Quartär sind mangels großräumig verbreiteter stratigraphischer Leithorizonte, den methodischen Ansatzflächen der Randsenkenanalyse, nicht genau genug berechenbar.

2) Die exogene Dynamik bleibt bei der Randsenkenanalyse gänzlich unberücksichtigt. Dies gilt vor allem für die numerischen glazialisostatischen Modelle, denen zufolge der Salzaufstieg in den quartären Eiszeiten durch differenzierte Eisbelastung erheblich beschleunigt werden konnte (Kap. 5.1).

Die Lagerungsverhältnisse der Salzgesteine innerhalb des Salzstockes Gorleben sind bislang nur in groben Zügen und spekulativ darstellbar. Hinsichtlich der Details insbesondere im Endlagerbereich sind die Ergebnisse der untertägigen Erkundung abzuwarten. Aufgrund der 44 Salzspiegelbohrungen, 2 Schachtvorbohrungen und 4 Tiefbohrungen bis etwa 2000 m kann man jedoch schon jetzt feststellen, daß der zentrale Sattel aus Staßfurt-Steinsalz, der das Endlager für die hochradioaktiven Abfälle aufnehmen soll, mit einer Breite von nur etwa 500 m im Bereich des Erkundungsschachtes Gorleben 1 erheblich schmaler ist als vor Bohrbeginn erwartet (Abb. 21, 22 und Kap. 7.2).

3.4 Gipshut

Was bei der Salzablaugung eines Salzstockes im Grundwasserbereich an Feststoffen übrigbleibt, vor allem Salztone, Dolomit, Kalkstein und Anhydrit, das reichert sich als Rückstandsgebirge im Gipshut bzw. Hutgestein auf dem Salzstockdach an. Dabei wachsen die Schichtfolgen im Gipshut - im Gegensatz zu den meisten anderen Sedimentgesteinen - von oben nach unten. Die Grenzfläche zwischen der Lösungsfront unter dem Gipshut und dem unversehrten Salzstock wird als Salzspiegel bezeichnet. Bei starker selektiver Tiefensubrosion kann der Salzspiegel weit in den Salzstock hineinreichen (s. Kap. 5.3 u. 7.4).

Hinsichtlich des Alters der Gipshutbildung ergibt sich zwischen dem derzeitigen Kenntnisstand und dem vor Bohrbeginn gehegten Erwartungen ein Unterschied von bis über 100 Millionen Jahren. Nach VENZLAFF (1978, 1979) soll der Salzstock Gorleben seinen Gipshut beim diapirischen Hauptaufstieg im Malm und

in der Unterkreide erhalten und seither, abgesehen von einer geringfügigen Ausdehnung im Tertiär, seine Form kaum noch verändert haben. Sein oberer Teil soll im Tertiär und Quartär nicht mehr abgelautet worden sein.

Den derzeitigen Kenntnisstand zeigt übersichtsmäßig die Abb. 23. Der obere Hauptteil des im Durchschnitt 20-40 m und maximal 111 m mächtigen Gipshutes ist im wesentlichen erst im Tertiär entstanden. Hinter der Kreide steht ein Fragezeichen. Lediglich in der Bohrung Gorleben 1005 wurde unter dem großen Salzstocküberhang an der SE-Flanke bei einer Teufe von 1881 m der verkarstete Rest eines früh- oder präkretazischen Gipshutes angetroffen (BfS 1991, US-Nr. 0049).

Der tertiäre Hauptteil gliedert sich (von oben nach unten) nach Petrographie und Gefüge in drei Abschnitte: Flaser- und Knollengips, Liniengips und Sprenkelgips. Letzterer gehört nach Ergebnissen von Isotopenuntersuchungen an Gipskristallwässern teilweise als eiszeitliche Bildung in das Quartär (HERBERT u.a. 1990).

In allen Bohrprofilen und in den zwei Erkundungsschächten sind diese drei Gipsgesteinstypen stellenweise mehr oder weniger stark gestört, zerklüftet und mit Hohlräumen durchsetzt. Infolgedessen gab es in 5 Salzspiegelbohrungen im Gipshut totale Spülverluste bis zu $15 \text{ m}^3/\text{Stunde}$. Wie wasserdurchlässig der Gipshut des Salzstockes Gorleben ist, zeigten auch die Laugenzuflüsse auf den Kontraktionsrissen im Steinsalz des Erkundungsschachtes Gorleben, die in hydraulischer Verbindung mit den Deckgebirgswässern standen, bis etwa 60 m unter den Salzspiegel hinabreichten und das Schachtabteufen ab Dezember 1992 um fast ein halbes Jahr zum Stillstand kommen ließen.

Die o.g. Hohlräume im Gipshut sind zumeist mit Nachsturzmateri-
al aus dem Deckgebirge verfüllt. Im Schacht Gorleben 1 wurde im unteren Teil des Gipshutes eine Hohlraumfüllung von der

Größe des Schachtdurchmessers angefahren, die ausgeräumt werden mußte. Im wesentlichen handelt es sich dabei um eine Mischung aus oberkretazischen bis mittelmiozänen Sedimenten (BGR 1992, US-Nr. 0046).

Der jüngste und unterste Teil des Gipshutes des Salzstockes Gorleben gehört stratigraphisch in das Quartär und besteht aus zwei Gesteinstypen: Hutgesteinsbrekzie und geschichtetem Gips/Anhydrit (Abb. 23).

Bei der Hutgesteinsbrekzie handelt es sich um eine glazifluviatile Einspülung von elstereiszeitlichen Schmelzwassersanden und -kiesen in den unteren Teil des Gipshutes. Die Einspülung erfolgte seitlich vom Grunde der Gorlebener Rinne her. Als Leitbahn diente der Salzspiegel. Bei der Einspülung wurden die Schmelzwassersande und -kiese mit vielen Gipshutbruchstücken zu einer Brekzie vermengt. Die Matrix, in der die Gipsbrocken und Geschiebe eingelagert sind, besteht aus glazifluviatilem Sand, Schluff und Ton sowie aus durch Gips und Karbonat, örtlich auch durch Steinsalz verfestigtem Sandstein (Abb. 24).

In 28 Bohrungen (BfS 1991, S. 60, US-Nr. 0049) bzw. 31 Bohrungen (BfS 1990, S. 45, US-Nr. 0026) wurde das bis 1,7 m mächtige geschichtete Gips-/Anhydritgestein angetroffen. Darin wechseln Bereiche aus regellos angeordneten, leistenförmigen Anhydritkristallen mit 0,5-1 cm dicken Lagen aus fast idiomorphen Gipskristallen. Es handelt sich um sedimentäre Neubildungen, die nach der Bildung der sandigen Gipshutbrekzie der Elster-Eiszeit vom Salzspiegel her an diese angewachsen sind. BORNEMANN & FISCHBECK (1986) und ihnen folgend die Endlagergremien glauben, daraus eine genaue Subrosionsrate für das jüngere Quartär nach der Elster-Eiszeit ableiten zu können (Kap. 5.2, 6.3, 7.3 u. 7.4).

Die Hutgesteinsgeologen machen es dem Leser, der in die Details gehen möchte, auch sonst nicht leicht. Nach BGR (1991: 179, US-Nr. 0048) ist das Hutgestein bis ca. 92 m und nach BORNEMANN & FISCHBECK (1986: 71) bis 111 m mächtig. BfS (1991, US-Nr. 0049) bzw. BORNEMANN (1991) enthalten sich der Stimme. Außerdem fehlen Angaben über die durchschnittliche und maximale Mächtigkeit der elstereiszeitlichen Hutgesteinsbrekzie. Von einer "Verteilung der Hutgesteinsbrekzie" (BfS 1991: 59, US-Nr. 0049) wird zwar geschrieben, aber eine entsprechende Karte fehlt. Nur zwei Profile in der Anlage ergeben kein räumliches Verteilungsbild. Dieses bräuchte man aber zum genetischen Verständnis. Immerhin kann der Leser durch Anlegen der Maßstäbe herausfinden, daß die elstereiszeitliche Hutgesteins- bzw. Gipshutbrekzie bei BfS (1990, S. 42, Abb. 4) und bei BfS (1991, Anlage 17) unterschiedliche Mindestmaximalmächtigkeiten (12 m bzw. 36 m) erreicht.- Warum sind die Beschreibungen von sorgfältig herausgearbeiteten Ergebnissen so mangelhaft geführt? Warum macht das Forschungsmanagement seine Hutgesteinsgeologen nicht selbst darauf aufmerksam, daß sie ihre wissenschaftlichen Ergebnisse damit unter Wert anbieten (Kap. 5.3)?

4. Deckgebirge des Salzstockes Gorleben

Das Deckgebirge des Salzstockes Gorleben spielt im geologischen Mehrbarrierenkonzept eine große Rolle. Einerseits soll es den Endlagersalzstock vor der Subrosion schützen; andererseits sollen seine tonigen und schluffigen Deckschichten im potentiellen Störfall, wenn die Barriere Salzstock allein hierfür nicht mehr ausreicht, gemäß den RSK-Sicherheitskriterien

"den Schutz von Mensch und Umwelt vor der Schädigung durch ionisierende Strahlung dieser Abfälle gewährleisten".

4.1 Tertiäre Deckschichten

Die stratigraphische Tabelle 3 zeigt die Schichtenfolge des Tertiärs und Quartärs in einer übersichtlichen Zusammenfassung. Das Tertiär umfaßt die Zeit vor etwa 2-65 Millionen

Jahren. Es beginnt mit einer kleinen Schichtlücke im Unterpaläozän als Folge einer weiträumigen epirogenen Hebung, und es endet mit einer großen Schichtlücke im Obermiozän und Pliozän.

Die tertiären Ablagerungen sind im Unterschied zu den älteren deutlich weniger verfestigt. Sie kommen am vollständigsten in den Randsenken des Salzstockes vor, wo sie vor der Abtragung verschont blieben und wo sie - bei starker Absenkung im NW - Mächtigkeiten von ca. 1150 m erreichen.

In der o.g. Tiefbohrung Gorleben Z1 wurde die Tertiär-Basis bei 900 m angetroffen. Das Alttertiär (Paläozän, Eozän, Oligozän) besteht hauptsächlich aus marinen Tonen und Schluffen. Im Eozän und Oligozän des Norddeutschen Beckens sind Kalksandstein-Bänke und Grünsande weit verbreitet. Der Grünsand des Mitteleozäns (der sogen. Brüssel-Sand) stellt einen Aquifer von großer wirtschaftlicher Bedeutung dar, da aus ihm in mehreren Heilbädern Thermalsole gefördert wird. In der im Rahmen des hydrogeologischen Untersuchungsprogrammes niedergebrachten Tiefbohrung GoHy 994 (in der SE-Randsenke des Salzstockes Gorleben bei Gartow; Bohrteufe: 732 m), sind die Brüssel-Sande in einer Teufe von 550-572 m unter Gelände erbohrt worden. Im Zuge von Pumpversuchen konnte hier ebenfalls Thermalsole gefördert werden (ca. 21° C am Auslauf).

In dieser Bohrung sind auch mehrere mm bis cm mächtige Tuffit-Lagen angetroffen worden. Diese in die Tone und Schluffe des Untereozän 1 eingewehten Aschelagen stammen von einem Vulkanausbruch im Skagerrak.

Im Miozän wich das Tertiär-Meer bis zur heutigen Nordsee-Küste zurück. In den Randsenken der weiter aufsteigenden Salzstöcke kam es zum Absatz der sogen. Braunkohlensande sowie der Braunkohlenschluffe und -tone. Im oberen Teil der Braunkohlensande bei Gorleben schaltet sich eine über 30 m mächtige Wechselfolge aus Sand und Braunkohle ein. Die größte Flözmächtigkeit beträgt 5 m.

Bei Bültz, westlich von Wustrow, und bei Trabuhn und Lichtenberg wurden in Notzeiten, wie z.B. den 20er Jahren, miozäne Braunkohlenflöze abgebaut, bei Trabuhn sogar untertage. In beiden Fällen handelt es sich aber nicht um anstehendes Miozän, sondern um große Gesteinsschollen, die vom saaleeiszeitlichen Gletschereis in nördlich angrenzenden Randsenken vom Untergrund losgerissen und bis zu den heutigen Fundorten mitgeschleppt wurden. Auch in der Prignitz, u.a. bei Rambow, konnte miozäne Braunkohle nachgewiesen werden. In der Mitte des vorigen Jahrhunderts standen dort insgesamt 10 kleine Förderanlagen (GÄDKE 1991).

Im Tertiär herrschten bis zum Miozän überwiegend subtropische Klimaverhältnisse. In den miozänen Sumpfwäldern der Salzstock-Randsenken wuchsen u.a. Palmen, deren verkieselte Versteinerungen man im Drawehn als eiszeitliche Geschiebe finden kann. Sie gehören zu den Nahgeschieben der sogen. Mehlfliener Gesteine, die von W. GAUGER (1975) beispielhaft untersucht wurden.

Erst in jüngerer Zeit ergab die Überarbeitung mikrofaunistischer Datierungen durch Dinoflagellaten (Algen) in vielen Proben eine Korrektur der biostratigraphischen Einstufung, namentlich im Alttertiär (BGR 1991, US-Nr. 0039). Die neuen Mächtigkeitspläne und geologischen Profile der BGR zeigen, daß die tertiäre Sedimentation auf dem Salzstock doch nicht einheitlich verlief. Generell unterscheidet sich die Entwicklung im NW von der im SE. Vermutlich sind diese Unterschiede in erster Linie auf das Zusammenspiel von tertiärer Subrosion und Gipshutbildung zurückzuführen. Erstmals wurde übrigens bereits 1984 auf "lokale Wechsel der Lithofazies sowie Mächtigkeitschwankungen im Deckgebirge des Salzstockes" während des Tertiärs hingewiesen (DUPHORN 1984, S. 13).

DUPHORN und Mitarbeiter (1983, US-Nr. 0052) haben aufgrund der Bohrbefunde ausgerechnet, daß die tonig-schluffigen Deckschichten des Alttertiärs über der Scheitelzone des Salzstockes

Gorleben auf einer Fläche von insgesamt etwa 10 km² abgetragen worden sind. Damit entfällt im potentiellen Störfall eine bedeutende hydrogeologische Barriere. Vor Bohrbeginn hatte niemand mit dieser großflächigen sicherheitsrelevanten Schichtlücke gerechnet.

4.2 Quartäre Deckschichten

Die Tabelle 4 ergänzt den quartären Anteil der Tabelle 3, die nur die Schichtenfolge enthält, durch einige radiometrische Altersangaben, eine stark generalisierte Klimakurve sowie die quartär- bzw. hydrogeologisch nachweisbaren Subrosionsphasen des Quartärs.

Die Tabelle 4 zeigt, abgesehen von den Loosener Kiesen in der Prignitz, eine große Schichtlücke im älteren Quartär an, die sich in das Pliozän und Obermiozän fortsetzt (s. Tab. 3). Die quartären Sedimente im Raum Gorleben setzen erst in der Menap-Kaltzeit ein, vor etwa 1 Million Jahren. Somit deckt die quartäre Schichtenfolge über und in dem Salzstock Gorleben ziemlich genau den von PTB/BfS vorgegebenen sicherheitsgeologischen Bewertungszeitraum ab (s. Kap. 5).

Die Loosener Kiese überlagern bei 35-45 m über NN in der Prignitz diskordant verschiedenalte Ablagerungen des Tertiärs. Es handelt sich um bis 8 m mächtige Sande und Kiese des Baltischen Hauptstromes, der im Pliozän und in der Präglazialzeit des Quartärs (Beginn Prätegelen bis Ende Cromer) den größten Teil des Norddeutschen Tieflandes zur südlichen Nordsee hin entwässert hat (WOLDSTEDT & DUPHORN 1974). Sein nördliches Einzugsgebiet reichte über das heutige Meeresgebiet der südlichen Ostsee, das damals noch Festland war, bis nach Mittelschweden, sein südliches bis in die Mittelgebirgszone. Die fluviatilen "Mischkiese" des Baltischen Hauptstromes sind - im Gegensatz zu den vom Gletschereis transportierten eiszeitlichen Geschieben - gut gerundet und bestehen aus stark verwitterten Restschottern südlicher und nördlicher Herkunft, vor allem Quarziten,

Quarzen, Lyditen und Silitikaten. Stratigraphisch gehören sie in den Grenzbereich Pliozän-Pleistozän (W. v. BÜLOW 1991).

Die etwa 2,5 Millionen Jahre alten horizontbeständigen Loose-
ner Kiese bilden einen wichtigen Leithorizont zur quantitati-
ven Bestimmung des quartären Salzaufstieges und der Subrosion
(s. Kap. 5.1 u. 5.2).

Bei den ältesten quartären Sedimenten im Raum Gorleben handelt
es sich um bis 56 m mächtige Flußsande und -kiese des vorherr-
schend kaltzeitlichen Menap-Komplexes. Sie gehören ebenso wie
die Loosener Kiese zum Flußsystem des Baltischen Hauptstromes,
sind aber etwa 1,5 Millionen Jahre jünger. Mit ihnen beginnt
der geologische Bewertungszeitraum der PTB/BfS (Kap. 5). Haupt-
komponenten sind Quarzite, quarzitische Sandsteine und Rest-
quarze. Die Kristallingerölle (maximal 13 %) sind stark ver-
wittert. Sehr gut gerundeter Feuerstein aus der Schreibkreide
der Ostsee erreicht nur 2 % (DUPHORN 1983, US-Nr. 0052, KABEL &
SCHRÖDER 1984).

In der Bohrung GoHy 940, im SW-Teil des Salzstockes Gorleben,
wird der Gipshut in einer Tiefe von 237 m unter NN unmittel-
bar von ca. 85 m mächtigen See-Sedimenten der jüngeren Prä-
glazialzeit überlagert. Deren Hauptmasse gehört nach den pol-
lenanalytischen Bestimmungen (H. MÜLLER 1986) in den Cromer-
Komplex. Der unterste Teil gehört in die Bavel-Warmzeit. Die-
se reicht in den paläomagnetischen Jaramillo-Event herein.
Dessen Alter beträgt nach SHACKLETON u.a. (1990) und TIEDE-
MANN & SARNTHEIN (1994) 990.000-1,07 Mio. Jahre (früher 970.000
Jahre). Somit markiert dieser Event in Gorleben den Beginn des
geologischen Bewertungszeitraumes.

Ein besonderer wissenschaftlicher Höhepunkt des Gorleben-Pro-
jektes ist die stratigraphische Vollgliederung des Cromer-
Komplexes durch H. MÜLLER (1986). Auf der Grundlage der Be-
stimmung von etwa einer halben Million Pollenkörnern und un-
ter Berücksichtigung der sonst noch vorhandenen Mikroflora

und -fauna konnten einschließlich von Bavel- und Leerdam-Warmzeit 6 durch Kaltzeiten unterbrochene Warmzeiten hoher stratigraphischer Ordnung sowie etwa 30 Klimaschwankungen niedriger Größenordnung nachgewiesen werden. Auf der Grundlage dieser wissenschaftlichen Feinarbeit sind genaue Aussagen zur alt-quartären Subrosion möglich (Kap. 5.2).

In der Elster-Eiszeit, die nach neuen Uran/Thorium-Datierungen etwa die Zeitspanne von 400.000-500.000 Jahre vor der Gegenwart umfaßt, erreichte das skandinavische Inlandeis erstmals das Norddeutsche Tiefland und drang bis in das Thüringer Becken vor. Ein zweiter Eisvorstoß in der Elster-Eiszeit wird laut BGR (1991, S.180, US-Nr. 0048)

"wegen der nur schwachen sedimentologischen Anhaltspunkte kontrovers diskutiert".

Nach K.-D. MEYER, NLfB (Vortrag im Niedersächsischen Umweltministerium am 5.3.1993) wurde jedoch

"in beiden Schächten eine mehrere 10-er m mächtige elsterzeitliche Grundmoräne angetroffen, überlagert von Schmelzwassersanden, über denen eine als Geschiebesand entwickelte geringmächtige jüngere elsterzeitliche Moräne liegt. Diese wird im Schacht 1 von sehr geringem, in Schacht 2 dagegen sehr mächtigem Lauenburger Ton überlagert".

Meine Mitarbeiter und ich selbst haben bei den geologischen Aufnahmen der Spülbohrungen seinerzeit die nur wenige Meter mächtige Elster 2-Sandmoräne für kiesigen Schmelzwassersand gehalten. Erst die Schachtaufschlüsse haben einen Einblick in das Sedimentgefüge geboten und den Moränencharakter sichtbar gemacht.

Die elstereiszeitlichen Ablagerungen sind im wesentlichen an die Gorlebener Rinne über dem Salzstock und an die glaziären Erosionsrinnen in den flankierenden Tertiär/Altquartär-Rand-senken gebunden (Abb. 4). Nach dem Abschmelzen des Elster-Eises wurde die Gorlebener Rinne rasch wieder zugefüllt. Zunächst wurden darin bis über 100 m mächtige Schmelzwassersande abgelagert. Dann kam die elstereiszeitliche Gletschertrübe zum Absatz. Diese liegt heute in Form des bis 120 m mächtigen Lauenburger Ton-Komplexes vor. Im südlichen Rinnenabschnitt, etwa zwischen Prezelle und der SE-Flanke des Salzstockes, wird der Lauenburger Ton noch von elstereiszeitlichen Schmelzwassersanden überlagert, die eine Mächtigkeit von 85 m erreichen (DUPHORN 1983, US-Nr. 0052).

Zwischen den Gletscherablagerungen der Elster- und Saale-Eiszeit schalten sich in der Gorlebener Rinne bis zu 27 m mächtige See- und Meerestone der Holstein-Warmzeit ein. Die Trans- bzw. Ingression des Holstein-Meeres in der Unterelbe-Bucht reichte über Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg bis zum Oderhaff. Als Leitbahnen für das Holstein-See dienten die elstereiszeitlichen Tiefenrinnen. Es handelt sich um ein glazialisostatisch abgesenktes Förde- und Sundsystem, das die Größenordnung der schleswig-holsteinischen Fördeküste um ein Mehrfaches übertrifft (DUPHORN u.a. 1994).

Von besonderem Interesse im Hinblick auf das von der BGR 1990 geplante, aber noch immer nicht in Gang gekommene Projekt Gorleben-Nord ist das Vorkommen von holsteinzeitlichen Meerestonen mit der Brackwasser-Foraminifere *Ammonia beccarii* bei 84,0-86,2 m unter Gelände (20 m über NN) in der 1966 niedergebrachten Bohrung Nausdorf über dem Salzstock Rambow (Mitteilung Geolog. Landesamt Mecklenburg-Vorpommern 1993). Die Tiefenposition deutet auf jüngere Subrosion hin (s. Kap. 5.2.).

Die holsteinwarmzeitlichen Ablagerungen, die etwa im Niveau zwischen 30 m und 50 m u. NN zum Absatz kamen, bilden den Abschluß der Rinnenfüllung. Somit trat die während der Elster-Vereisung tief und steil eingeschnittene Gorlebener Rinne in

der Holstein-Warmzeit morphologisch nur noch als sehr schwach eingetiefte Hohlform in Erscheinung, in die das von NW her eindringende Holstein-Meer gerade noch so "hineinschwappen" konnte. Diese geologischen Befunde einer Flachwasser-Fazies werden durch die pollenanalytischen Bestimmungen (Bearbeiter: Dr. H. MÜLLER, BGR Hannover) bestätigt. Oft treten überwiegend marine, brackische und limnische Flachwasser-Ablagerungen aus der Spätphase des Klima-Optimums, namentlich der Pollenzone XII, auf engstem Raum übereinander auf.

Die Zufüllung und Verflachung der elstereiszeitlichen Tiefenrinnen am Ende der Elster-Eiszeit und in der Holstein-Warmzeit sind für das norddeutsche Vereisungsgebiet charakteristisch (WOLDSTEDT & DUPHORN 1974). Dieses gesicherte geologische Erkenntnis bildet für die Interpretation der saaleeiszeitlichen Ablaugung des Salzstockes Gorleben eine wesentliche Grundlage (Kap. 5.2, 6.3 u. 7.3).

In der nachfolgenden Saale-Eiszeit wurde der Raum Gorleben dreimal vom skandinavischen Inlandeis überfahren: Zweimal im (älteren) Drenthe-Stadium und einmal im (jüngeren) Warthe-Stadium (s. Tab. 3). Das Drenthe-Eis drang bis an den Harz, in die Niederrheinische Bucht und in die holländische Provinz Drenthe vor, das Warthe-Eis hingegen nur bis in die Lüneburger und Letzlinger Heide (WOLDSTEDT & DUPHORN 1974).

Die drei Saale-Vereisungen haben das morphologische Formenbild der eingangs genannten Altmoränenlandschaften geprägt. An zahlreichen Stellen wurde der Untergrund durch das vorrückende Gletschereis gestaucht und gefaltet. Am Beispiel der Hühbeck-Stauchmoräne werden diese eistektonischen Vorgänge im Kapitel 5.4 beschrieben.

Die drei saaleeiszeitlichen Gletschervorstöße sind durch Geschiebemergel sowie durch Schmelzwassersande und -kiese geologisch dokumentiert. Diese Ablagerungen konnten aufgrund von

petrographischen Kiesanalysen lithostratigraphisch identifiziert und von Bohrung zu Bohrung korreliert werden (DUPHORN 1983, US-Nr. 0052).

Ablagerungen der Eem-Warmzeit in Form von Mudde, Torf und humosen Schluffen, die ehemalige Altwasserarme, Moore oder Seen anzeigen, wurden im Liegenden der Niederterrassensande nur bei Trebel (Bohrung GoHy 620) sowie in den Niederungen nördlich und südlich des Öring erbohrt (DUPHORN & SCHNEIDER 1983).

Die Weichsel-Eiszeit begann nicht vor ca. 70.000 Jahren, wie die BGR (1990, S. 188) annimmt, sondern gemäß internationalem stratigraphischen Standard mit der ersten Tundraphase nach der Eem-Warmzeit bereits vor ca. 115.000 Jahren. Sie endete mit einer raschen Erwärmung nach der letzten Tundraphase vor ca. 10.100 ^{14}C -Jahren bzw. 11.100 dendrochronologischen Kalenderjahren (s. Kap. 6.1).

Während des größten Teiles der Weichsel-Eiszeit herrschten in Norddeutschland periglaziale Klimaverhältnisse mit Dauerfrostboden und schütterer Tundravegetation. Unter diesen Verhältnissen kam es in den Sommermonaten an den Geesthängen zu starker Solifluktion und Abschwemmung sowie am Hangfuß zur Bildung von sandigen Schwemmfächern (Talsande), die sich weit in die Niederterrassensande des Elbe-Urstromtales einschieben. Die weichselkaltzeitlichen Klimaverhältnisse sind durch Mammut-Funde (Knochen und Backenzähne von *Mammonteus primigenius*) in den Talsanden bei Teplingen und Luckau (GUENTHER & EICHENBERG 1974/75) auch paläontologisch belegt.

In der Weichsel-Hochglazialzeit, vor ca. 15.000-20.000 ^{14}C -Jahren, lag der Rand des skandinavischen Inlandeises ca. 60 km nördlich von Gorleben. Seine Schmelzwässer vereinigten sich im Elbe-Urstromtal mit den von Süden kommenden und vor der Eisfront nach Westen abgelenkten Flüssen.

Vom Hühbeck aus kann man bei guter Sicht das Elbe-Urstromtal in ganzer Breite überblicken. Diese Breite (30 km) und die Mächtigkeit der oberen Niederterrassensande (bis 25 m) lassen ahnen, welche Wassermengen während des glazialen Höhepunktes der letzten Eiszeit hier geflossen sind (Abb. 3).

Mit Hilfe der petrographischen Kiesanalyse konnte der Niederterrassenkomplex des Elbe-Urstromtales in zwei Teile gegliedert werden (SCHRÖDER 1988). Verstellungen der beiden weichseleiszeitlichen Talsohlen durch Salzaufstieg oder Subrosion sind in den Tiefenlinienplänen nicht erkennbar (DUPHORN 1983, US-Nr. 0052, s. Kap. 5.1 u. 5.2).

Im Spätglazial begann auch die äolische Überprägung der weitgehend trockengefallenen Elbe-Niederterrasse, die dann im Holozän zur Aufwehung von großen Dünenfeldern führte (s.u.). Der spätglaziale Dauerfrostboden ist durch einen "fossilen Eiskeil" in einer Sandgrube bei Liepe belegt (s. Kap. 5.6).

Die im Spätglazial der Weichsel-Eiszeit eingeschnittenen Rinnen der Elbaue wurden im Holozän abwechselnd mit Flußsand, Auelehm, Mudde und Torf wieder zugefüllt. Bei den periodisch wiederkehrenden Hochwässern wurden auch die höher gelegenen Zwischengebiete überflutet. Dadurch kam es auch dort zur Sedimentation. Somit ist die holozäne Schichtenfolge der Elbaue durch einen vielfachen Wechsel von Auelehmen, Flußsanden, Torfen und Mudden sowohl in horizontaler als auch vertikaler Richtung gekennzeichnet (DUPHORN 1980, 1983).

Im Holozän wurden große Gebiete der Elbe-Niederterrasse, namentlich im Gartower Forst, zu eindrucksvollen Dünenlandschaften umgeformt. Die höchsten Dünenkuppen liegen in den Hahnenbergen südlich von Gartow. Dort sind nahezu 15 m mächtige Flugsande aufgeweht worden. Zwei fossile Bodenbildungen (Podsole) in den Dünen belegen die Mehrphasigkeit der äolischen Sedimentation.

5. Quartäre Lagerungsstörungen im Rahmen des geologischen Bewertungszeitraumes der PTB/BfS

Die Endlagergremien legen bei ihrer Sicherheitsbewertung des geologischen Mehrbarrierensystems als Planungsvorgabe einen Zeitraum von etwa 1 Million Jahren zugrunde. Dabei wird unterstellt, daß diejenigen geologischen Vorgänge, die in der jüngeren Hälfte des Quartärs stattgefunden haben, auch in einem ebenso großen Zeitraum der Zukunft stattfinden können. Somit sind die Ergebnisse über die Veränderungen des Salzstockes Gorleben und seines Deckgebirges in der jüngeren Hälfte des Quartärs (etwa 1 Million Jahre) bei den sicherheitsgeologischen Betrachtungen und Bewertungen von größter Bedeutung.

5.1 Salzaufstieg

Nach der Abschätzung bei der Randsenkenanalyse beträgt die durchschnittliche Salzaufstiegsrate seit Beginn des Miozäns 0,02 mm/Jahr (BGR 1991, US-Nr. 0038, s. Kap. 3.3). In der Gesamtbewertung der BfS (1990, S. 295, US-Nr. 0026) ist nur von 0,01 bis 0,02 mm/Jahr die Rede.

Die o.g. Mittelwerte entsprechen Hebungen von 20 m bzw. 10-20 m während einer Million Jahre. Diese sehr langsamen Salzbewegungen gefährden auch nach meiner Auffassung die Langzeitsicherheit des geplanten Endlagers im Salzstock Gorleben nicht. Es müssen aber noch die im Endlager thermisch induzierten Spannungen und Bewegungsbeschleunigungen hinzugerechnet werden (Kap. 6.2). Außerdem sind glazialisostatische Aufstiegsbeschleunigungen infolge unterschiedlicher Auflast des skandinavischen Inlandeises zu berücksichtigen (Kap. 6.2).

Eine weitere Unsicherheit ergibt sich daraus, daß der jüngste miozäne Leithorizont, der für die Randsenkenanalyse ausgewertet werden konnte, etwa 20 Millionen Jahre vom amtlichen geologischen Bewertungszeitraum, der letzten einen Million Jahre entfernt ist. Außerdem ist zu berücksichtigen, daß Salzaufstieg und -ablaugung offensichtlich ungleichmäßig erfolgt sind. Für das Tertiär hat die BGR (1991, US-Nr. 0039) aufgrund der Dinoflagellaten-Analyse diese ungleichmäßigen Verhältnisse fein säuberlich herausgearbeitet und im Detail kartographisch dargestellt (s. Kap. 4.1).

Wie im folgenden exemplarisch gezeigt wird, ist beim Salzstock Gorleben auch im quartären Bewertungszeitraum der PTB/BfS mit solchen ungleichmäßigen Verhältnissen zu rechnen.

Die Abb. 22, welche die Abb. 21 ergänzt, stammt aus der BGR und wurde von mir etwas ergänzt. Beide Profile zeigen geologisch interessante Zusammenhänge zwischen der Form, der Innenstruktur und den Deckschichten des Salzstockes bis hinauf zur quartären Schichtenfolge. Die jüngeren Salzschichten sind in einer überkippten Zentralmulde bis hinunter zum geplanten Endlager-Bereich eingefaltet. Auch im obersten Teil des Salzstockes herrschen inverse Lagerungsverhältnisse. Das heißt, ein großer Teil des Staßfurt-Steinsalzes ist nordwestlich der Salzstockachse aus dem Salzstock-Kern selektiv nach oben ausgepreßt worden, hat dort die jüngeren Salzschichten seitlich überfahren und ist in den pilzförmigen Überhang an der SE-Flanke des Salzstockes hineingewandert.

Darunter wurde bei einer Teufe von 1881 m der verkarstete Gips-
hut aus der tieferen Unterkreidezeit oder der Zeit davor erbohrt (BfS 1991, US-Nr. 0049). Es ist sehr unwahrscheinlich, daß es sich bei dieser großen Tiefe um eine rezente Gipshutbildung handelt. Daher ergibt sich aus diesem Unterlagerungsfall die Annahme einer tiefen Absenkung des erdoberflächennah gebildeten fossilen Gipshutes. Diese Absenkung ist sowohl halokinetisch als auch epirogen-tektonisch bedingt.

Fazit: Die Endlagergremien sprechen stets nur vom Salzaufstieg. Umgekehrt muß beim Überhang des Salzstockes Gorleben und seinem mitversackten fossilen Gipshut auch vom Salzabstieg gesprochen werden.

Der morphologische Höhepunkt des Salzaufstieges bei mindestens 40 m über NN, der durch die extreme Gipshut-Hochlage in der Abb. 22 markiert ist, wurde erst im Altquartär erreicht. Somit hat sich der Diapirismus, der im Oberjura und in der Unterkreide-Zeit begann, mit generell abnehmenden Bewegungsgeschwindigkeiten bis in das Altquartär weiterentwickelt. Zum Vergleich: Gorleben liegt bei 20 m und seine Kirchturmspitze bei etwa 40 m über NN.

Die altquartäre Gipshut-Hochlage wurde aus einem Parallelprofil nachträglich in dieses Bild projiziert. In der projizierten Bohrung GoHy 940 liegen die See-Sedimente der Bavel-Warmzeit (s. Kap. 4.2) bei 237 m unter NN unmittelbar auf dem Gipshut. Dieser Überlagerungsfall ist der geologische Beweis dafür, daß ein Teil des Salzstockes Gorleben in der Übergangszeit Menap-Kaltzeit/Bavel-Warmzeit, vor etwa 970.000 bis 1 Million Jahren, seine tertiären und altquartären Deckschichten als Diapir durchragte, also einen ähnlichen Anblick bot wie in der Gegenwart die Salzstöcke Lüneburg und Bad Segeberg.

Dieser geologische Bohrbefund wird paläontologisch bestätigt: Die See-Sedimente der Bavel-Warmzeit und des nachfolgenden Cromer-Komplexes enthalten vom Diapir abgetragene und in den See umgelagerte Zechstein-Sporomorphen, aber keine Pollenkörner aus tertiären Deckschichten (H. MÜLLER 1986).

Aus einem Vergleich mit den pliopleistozänen Loosener Kiesen in der Prignitz (s. Kap. 4.2) ergibt sich für den altquartären Diapir Gorleben eine Mindesthöhe von 35-45 m über NN. So

hoch liegen die Loosener Kiese in primärer ungestörter Position. Diese Position entspricht dem Niveau des Flußbettes im Baltischen Hauptstrom vor ca. 2,5 Millionen Jahren (W. v. BÜLOW 1991).

Die etwa 1,5 Millionen Jahre jüngeren Fluß- und Seesande bei 237 m unter NN über dem Gipshut des Salzstockes Gorleben haben ursprünglich noch einige Zehnermeter über dem Niveau der Loosener Kiese gelegen. Dies ergibt sich aus den Lagerungsverhältnissen in der flußaufwärtigen Wittenberger Elbetalwanne. Dort liegen sogar die frühländereiszeitlichen Flußkiese noch obenauf (A. MÜLLER 1973). Im Raum Gorleben hingegen wurden die Ablagerungen der Präglazialzeit vom Elster-Eis abgetragen, mit Ausnahme derjenigen, die in der altquartären Subrosionsenke über dem Salzstock Gorleben bis auf 237 m unter NN versackt sind und in dieser geschützten Position vor der Abtragung bewahrt blieben (s. Kap. 5.2).

In der fachlichen Stellungnahme der BGR vom März 1983 wird meine Interpretation einer diapirischen Nachphase im Dauerfrostboden der Menap-Kaltzeit mit zwei Begründungen abgelehnt; eine "Nachbewegung des Salzstockes" jedoch akzeptiert:

- 1) "Der altquartären Subrosion auf dem Salzstock Gorle-
ging eine epirogene Hebung voraus, der gegenüber die
Nachbewegung des Salzstockes als geringer anzusehen
ist" (s. Kap. 5.3).
- 2) "Die bei dieser Annahme zu erwartenden altquartären
Sedimente in den Randsenken sind nicht nachgewiesen".

Ad 1): Das zuerst genannte Gegenargument entbehrt jeder fachlichen Grundlage. Norddeutschland war nach den geologischen Befunden sowohl im Altquartär als auch im Pliozän - ebenso wie heute - ein Tiefland. Der Baltische Hauptstrom, der Norddeutschland im Pliozän und im Altquartär entwässerte und in der Salzstock Gorleben am Ende der Menap-Kaltzeit und in der Bavel-Warmzeit hineinragte, war kein Gebirgs-, sondern ein Tieflandsfluß.

Die BGR nimmt für die epirogene Absenkung des Raumes Gorleben im Tertiär einen Betrag von 600-700 m an. Es ist unverstän-
dlich, daß im Zusammenhang mit dem altquartären Diapir eine
epiogene Hebung angenommen wird, "der gegenüber die Nachbe-
wegung des Salzstockes Gorleben als geringer anzusehen ist".

Ad 2): Nach KUSTER & MEYER (1979, S. 140) verlaufen im mitt-
leren und nordöstlichen Niedersachsen einschließlich des Dan-
nenberger Beckens

"tiefe Rinnen durch sämtliche Randsenken, die noch im
Jungtertiär besonders mobil waren".

Die Abbildungen 4, 5 und 30 zeigen über 150 m tiefe Quar-
tär-Rinnen elstereiszeitlichen Alters in beiden Randsenken
und die über 300 m tiefe Gorlebener Rinne längs über dem Salz-
stock. Die nordwestliche Rinne ist bis in das Miozän einge-
schnitten, die südöstliche sogar bis in das Obere Oligozän.
Unter diesen Umständen kann man nicht erwarten, daß die höher
gelegenen altquartären und jungtertiären Randsenken-Sedimente
noch erhalten geblieben sind.

Je mobiler die Randsenken und Ablaugungssenken im Jungtertiär
und Altquartär infolge Salzabwanderung im Untergrund und Kom-
paktion der Deckschichten waren, desto mehr dienten sie als
Leitbahnen für das skandinavische Gletschereis, das in der
Elster-Eiszeit (s. Tab. 1 u. Abb. 6) erstmals Norddeutschland
erreichte, und desto tiefer haben dieses Gletschereis und sei-
ne Schmelzwässer die jungtertiären und altquartären Randsen-
ken- und Subrosionssenken-Sedimente wieder ausgeräumt.

Somit ist auch das zweite o.g. Argument gegen die Interpreta-
tion einer diapirischen Nachphase - keine altquartären Rand-
senkensedimente - nicht stichhaltig. Aber auch meine Annahme
einer "rekordverdächtigen Diapirdynamik" (DUPHORN 1983, US-Nr.
0052) ist nach den Ergebnissen der Randsenkenanalyse (Kap.
5.2.1) nicht mehr haltbar. Es handelte sich um eine relativ
schwache diapirische Nachbewegung.

Quartäre Leithorizonte zur quantitativen Abschätzung des Salzaufstieges wurden von uns vergeblich gesucht und geprüft. Der marine Holstein-Ton über dem Salzstock wäre theoretisch einer, seine glazitektonische Deformation durch das Saale-Eis liegt aber um mehrere Größenordnungen höher als die Salzaufstiegsrate (Kap. 5.4).

Auch die fossilen Talsohlen der beiden weichseleiszeitlichen Niederterrassenkörper bieten sich hierfür und für die Bestimmung von Subrosionsraten an; die Tiefenlinienpläne zeigen aber, daß sie zu stark vom Glazialrelief der Warthe-Vereisung geprägt sind, um Salzaufstieg oder Subrosionserscheinungen erkennen zu lassen (DUPHORN 1983, US-Nr. 0052).

Zwischen Trebel und Tobringen quert eine bis 1 km breite spätglaziale bis holozäne Sandrinne den Salzstock. Diese wurde dem Forschungsmanagement für eine Spezialkartierung vorgeschlagen. Damit sollte festgestellt werden, ob das fossile Flußbett über dem Salzstock durch jüngeren Salzaufstieg oder Subrosion in seiner Lage verändert worden ist (DUPHORN 1983, US-Nr. 0052). Es ist unverständlich, daß das Forschungsmanagement bei einem finanziellen Projektvolumen von 3,35 Milliarden DM diese sicherheitsgeologisch notwendige Kartierung, die nur wenige tausend DM kosten würde, verweigert hat.

5.2 Salzablaugung

In der Gesamtbewertung des BFS (1990, S. 295, US-Nr. 0026) werden Salzaufstieg und Salzablaugung (0,01-0,02 mm/Jahr) im Hinblick auf die Langzeitsicherheit des geplanten Endlagers gleichgesetzt. Amtliches Fazit:

"Aufstieg und langfristige Ablaugung gefährden daher die Langzeitsicherheit des geplanten Endlagers im Salzstock Gorleben nicht".

Diese optimistische, aber fachlich unzulässige Sicherheitsaussage stützt sich nicht auf die Gesamtspanne der im Rahmen der Standorterkundung erarbeiteten Subrosionsraten und auch nicht auf die zeitliche Planungsvorgabe der PTB/BfS für die geologische Sicherheitsbewertung (1 Million Jahre), sondern nur auf den aus der Randsenkenanalyse der über 20 Millionen Jahre alten Leithorizonte des Tertiärs abgeleiteten Minimalwert. Eine vergleichende Analyse der Arbeitsmethoden, Bohrbefunde, Deutungen und sicherheitsgeologischen Betrachtungen zur quartären Subrosion am Salzstock Gorleben seitens der Endlagergemeinden steht 14 Jahre nach Bohrbeginn noch immer aus und wird hiermit vom methodischen Ansatz her nachgeholt.

5.2.1 Randsenkenanalyse

Die Randsenkenanalyse tertiärer Schichten und Leithorizonte erlaubt die Bestimmung der Salzabwanderung aus den Randsenken in den Salzstock hinein. Daraus kann auf den tertiären Salzaufstieg geschlossen werden (s. Kap. 3.3), mit Einschränkungen (s. Kap. 6.2) auch auf den quartären Salzaufstieg, auf keinen Fall aber auf die um eine Zehnerpotenz größere quartäre Subrosionsrate (0,2-0,4 mm/Jahr), die sich schon allein aus der Ablaugung des altquartären Gorleben-Diapirs bis etwa 300 m in den letzten 1 Mio. Jahren ergibt. Als Bezugshorizont dient hierbei die Gipshutoberfläche. Eine Verfälschung der Subrosionsrate durch Kompaktion kommt daher nicht in Betracht (Kap. 4.2 u. 5.1).

Das quartäre Subrosionsgeschehen der letzten Million Jahre kann nur durch den Vergleich mit dem Alter, den Sedimentmächtigkeiten und den Lagerungsveränderungen der quartären Ablagerungen über dem Salzstock und mit möglichst genauen Faziesbestimmungen mit hinreichender Genauigkeit ermittelt werden und nicht auf dem langen Umweg über Salzabwanderungen, die vor ca. 20-65 Millionen Jahren in den flankierenden Randsenken stattgefunden haben. Die Randsenkenanalyse des Tertiärs ist vom Subrosionsgeschehen des Quartärs zeitlich und methodisch weit entfernt und, wie die hier beschriebenen Subrosionsraten zeigen, als Sicherheitsaussage untauglich.

Nach meiner Deutung der Bohrbefunde steht das vielfältige quartäre Subrosionsgeschehen im engen Zusammenhang mit der menap kaltzeitlichen Diapirphase und mit der elstereiszeitlichen Tiefenerosion in der Scheitelzone des Salzstockes. Beide Vorgänge bleiben bei der Randsenkenmethode unberücksichtigt! Von mir hingegen werden sie als Hauptauslöser der subrosiven Aktivitäten in den letzten 1 Mio. Jahren angesehen. Ursachen und Wirkungen sind quartärstratigraphisch datierbar und korrelierbar. Der altquartäre Diapir von Gorleben wurde jedoch bisher von den Endlagergremien wegen einer tektonischen Fehlinterpretation nicht erkannt (s. Kap. 5.1). Und die exzessive Tiefenerosion und -subrosion der Elster-Vereisung wird von ihnen sicherheitstechnisch unterschätzt und ignoriert (s. Kap. 5.3 und 5.7).

5.2.2 Faziesanalyse

Ein Musterbeispiel für subrosionsbezogene Grundlagenforschung ist die von H. MÜLLER (1986) durchgeführte Bio- und Lithofaziesanalyse der bavel- bis cromerzeitlichen Seesedimente in der altquartären Subrosionssenke des Salzstockes Gorleben. Dabei wurden fast eine Million Mikrofossilien bestimmt, darunter etwa 500.000 Pollenkörner.

Die limnisch-fluviatilen Sedimente in der altquartären Ablaugungssenke wurden nur im Südteil des Salzstockgebietes erbohrt. Sie erreichen dort eine Mächtigkeit von fast 100 m und bestehen aus Feinkies (besonders im unteren Teil), Sand, Schluff, Mudde und Torf. Nach der Pollenanalyse war der See in der Ablaugungssenke immer sehr flach. Das heißt, Absenkung und Sedimentation haben sich jeweils die Waage gehalten. Salzig war der Ablaugungs-See nur am Anfang; danach süßte er rasch aus. Die für die gesamte Zeitspanne zwischen dem Ende der Menap-Kaltzeit und dem Beginn der Elster-Eiszeit berechnete Subrosionsrate liegt nach MÜLLER (1986) in der Größenordnung von

0,1-0,2 mm/Jahr. An mindestens zwei Stellen (GoHy 940/944 und 1171) ist es infolge von Hohlraumbildungen im Gipshut zu Erdfällen gekommen.

Mit Hilfe der Biofaziesanalyse konnte MÜLLER (1986) sogar die Wassertiefe des altquartären Ablaungssees über dem Salzstock Gorleben angeben: So flach wie das Steinhuder Meer, d.h. unter 3 m.

5.2.3 Geomorphologische Formenanalyse

Ist die großflächige Salzablaugung deutlich stärker als der Salzaufstieg, so kann sie sich in Form einer Subrosionssenke oder eines Erdfalles bis zur Erdoberfläche durchpausen. Ist umgekehrt der Salzaufstieg stärker, werden die Deckschichten über dem Salzstock aufgebeult. Halten sich Salzaufstieg und -ablaugung die Waage, dann wird, wenn keine anderen Faktoren wirksam sind, die Erdoberfläche über dem Salzstock weder gehoben noch gesenkt.

Über einigen größenordnungsmäßig ebenso hoch aufragenden Salzstöcken der näheren Umgebung liegen mehrere rezente bis subrezente Erdfälle und Salzablaugungssenken, die hier im regionalen Vergleich zumindest erwähnt werden sollen.

Das spektakulärste Beispiel ist der 49,5 m tiefe Arendsee über dem gleichnamigen altmärkischen Salzstock, ca. 20 km südöstlich von Gorleben (s. Abb. 3). Es handelt sich um einen angeblich im Jahre 811 entstandenen Erdfall-See. Weitere Nachbrüche, Hangrutsche und markante Uferveränderungen in den Jahren 822, 823 und vom 23.-25. November 1685 sind historisch belegt (GRÜNTAL 1988).

Beim Zwillingssalzstock Rambow, der von MEINHOLD & REINHARDT (1967: 346) als "ein besonders anschauliches Beispiel für rezente Salzbewegungen" angeführt wird, paust sich die starke holozäne Subrosion in einer vermoorten Senke mit dem Rudower und dem Rambower Ablaugungssee und einem etwa 30 m höheren halokinetischen Hebungsgraben bis zur Erdoberfläche durch (Abb. 3 u. 28).

Optisch nicht minder eindrucksvoll ist die Salzablaugungs-senke mit dem Rudower und dem Rambower See über der Scheitelzone des Zwillingssalzstockes Rambow. Hierzu REINHARDT (1967: 97):

"Ein typisches Beispiel für das Vorherrschen von Auslaugungsvorgängen ist der Salzstock Rambow in Südwestmecklenburg. Genau über dem Top befindet sich eine von schmalen Höhenzügen begrenzte grabenartige Geländesenke mit zwei Seen und sumpfigen Wiesen. Auch das Geländere relief im Profil ist sehr markant; die Senke entspricht genau dem Top des Diapirs. Die randlichen, symmetrisch angeordneten Höhen sprechen für eine Hebung der Gesamtstruktur einschließlich der Aufschleppungszonen am Salzrand, die sich in den Tertiärhorizonten A und T₁ abbilden. Im Zentrum überwiegt dagegen sehr stark die Auslaugung" (Abb. 28).

Das gesamte Gebiet ist geologisch weitgehend "Terra incognita". Die beiden Ablaugungsseen sind nur wenige Meter tief und müssen noch genau ausgelotet werden. Der Rambower See ist schon fast verlandet und bildet zusammen mit dem umgebenden Moor im Rahmen des im Mai 1990 gegründeten Naturschutzparkes Elbetal ein naturwissenschaftlich und landschaftsökologisch besonders wertvolles Feuchtgebiet mit einer Vielzahl von selten gewordenen und gefährdeten Pflanzen- und Vogelarten. Von besonderem ornithologischen Interesse ist eine Fischreiherkolonie im Rambower Moor.

Außer der bathymetrischen Vermessung muß u.a. eine quartär-geologische Oberflächen- und Seegrundkartierung durchgeführt werden. Eine am Rande des Rambower Moores niedergebrachte "Privatissime-Bohrung" erreichte bei etwa 8 m eine Mudde des spätglazialen Alleröd-Interstadials (Mitteilung H. MÜLLER und J. MERKT 1992). Damit liegt ein erster Anhaltspunkt für das Mindestalter der subrosiven Absenkung und Sedimentation vor.

Die Abb. 28 zeigt zwischen den Seespiegeln am Grunde der Ab-laugungssenke und dem umgebenden halokinetischen Hebungsgraben einen Höhenunterschied von etwa 30 m. Die Mudden des Alleröd-Interstadials liegen in einer Bohrung im Rambower Moor etwa 8 m unter dem Niveau des Seespiegels.

Die Abb. 29 zeigt die Mächtigkeit der seismischen Langsam-schicht, die mit über 12 m über dem Nordteil des Salzstockes Rambow am größten ist. Dieses Meßergebnis hängt ab von der Tiefenlage des Grundwasserspiegels in sandigen Sedimenten bzw. von der Tiefenlage der Oberfläche von Ton- und Geschiebemergelhorizonten. Bei Rambow kommt letzteres wegen des höheren Grundwasserstandes am ehesten in Betracht.

In Absenkungsgebieten kommt es zu einem mehr oder weniger starken Einschlüpfen von den höheren Randbereichen. Danach erhöht sich die Mächtigkeit der in den Senken zusammengeschwemmten Lockersedimente und so können die Mächtigkeitswerte der Langsamschicht auch auf noch wirksame Subrosionerscheinungen über Salzstöcken hinweisen (HURTIG 1965).

Unter Berücksichtigung dieser seismischen Meßergebnisse, des o.g. Bohrerergebnisses von MERKT & MÜLLER und der morphologischen Rahmenbedingungen kann man beim derzeitigen Kenntnisstand eine holozäne Subrosionsrate des Salzstockes Rambow im mm-Bereich pro Jahr annehmen. Die Ergebnisse des 1990 geplanten Projektes Gorleben-Nord werden zeigen, ob diese Annahme realistisch ist. Bisher steht dieses Projekt aber nur auf dem Papier.

Der Gipshut des Nachbarsalzstockes Groß Heide-Siemen wurde bei 119 m unter Gelände erbohrt (GoHy 900). Nach einer starken Ab-
laugung in der Saale-Kaltzeit ist die Ab-
laugung in der Weich-
sel-Spätglazialzeit erneut in Gang gekommen (DUPHORN 1983,
US-Nr. 0052). Unter mehreren kleinen Erdfällen ist der Erd-
fall im Siemener Moor der größte. Bei einer Diplomkartierung
durchgeführte Handbohrungen ergaben, daß der spätglaziale Erd-
fall aus einem trichterförmigen, steilwandigen Zentralbereich
und einem flachen Randbereich besteht (LAMMERS 1986). Darin
liegen 2 m Torf des Holozäns über 6 m Mudde des Weichsel-Spät-
glazials (LESEMANN 1969). Darunter folgen die Niederterrassen-
sande der Weichsel-Hochglazialzeit. Der bis 2 m tiefe Moorsee
entstand durch früheren Torfstich (s. Abb. 25).

Der Erdfall von Siemen, der vermoorte Senkungskranz an der
Ostflanke des Salzstockes und die örtliche Versalzung des
Oberflächenwassers in der angrenzenden Kleinen Lucie (BRÜHL &
FABER 1983) deuten darauf hin, daß Aufstieg und Ab-
laugung des Salzstockes Gr.-Heide-Siemen bis in die Gegenwart andauern
(DUPHORN 1983, US-Nr. 0052).

Am höchsten von allen Salzstöcken im Hannoverschen Wendland
ist der Salzstock Dannenberg aufgestiegen. In einer 1968 nie-
dergebrachten hydrogeologischen Aufschlußbohrung des Nieder-
sächsischen Landesamtes für Bodenforschung bei Kähmen (r=443664,
h=588780), an deren geologischer Aufnahme ich selbst beteiligt
war, wurde der Gipshut schon bei 88 m unter Gelände angetrof-
fen. Mehrere Erdfälle in der Umgebung weisen auf eine inten-
sive holozäne Salzablaugung hin. Der bekannteste Erdfall ist
der Maujahn, der einen kleinen See mit einem schwimmenden
Hochmoortorf enthält. Nach schriftlicher Mitteilung von H.
MÜLLER (1978) wurde am Seegrund bei einer Wassertiefe von
15,3-15,4 m ein humoser Sand erbohrt, der 22 % Roggen- und
etwas Buchweizen-Pollen enthält und somit sicher jünger als
mittelalterlich ist. Der wesentliche Teil des Erdfalles ist

somit nach MÜLLER nicht, wie LESEMANN (1969) annahm, im Sub-boreal, sondern erst in der Neuzeit entstanden. Darauf weist auch die Legende von einem bösen Ritter hin, der über Nacht mit seinem Schloß in der Erde versunken sein soll.

Über dem Salzstock Gorleben sind seit dem Warthe-Stadium der Saale-Eiszeit weder mit geomorphologischen noch mit geologischen Methoden Subrosionserscheinungen nachweisbar (DUPHORN 1983, US-Nr. 0052). Dies bedeutet aber nicht, daß keine vorhanden sind. Salzwasser, das an mehreren Stellen bis in das erdoberflächennahe Grundwasser aufsteigt, deutet darauf hin, daß die Subrosion auch beim Salzstock Gorleben bis in die Gegenwart andauert (Kap. 5.2.5 u. 7.3).

Das Weiße Moor, eine etwa 500 x 300 m große Hohlform 2 km süd-östlich von Gorleben, welche flach in die bei 20 m über NN liegende Niederterrassen-Oberfläche eingetieft ist, wurde von GRIMMEL (1980) als tektonisch gesteuerte Subrosionssenke gedeutet. Nach K.-D. MEYER (1980) und nach unseren geologischen Kartiierungsergebnissen in Verbindung mit der morphologischen Formenanalyse handelt es sich aber um eine holozäne Windausblausungswanne (DUPHORN 1983, US-Nr. 0052). Das von den vorherrschenden Westwinden ausgewehrte Sandmaterial wurde nicht weit transportiert, sondern kam gleich in dem östlich angrenzenden, bis 25 m hohen Dünenfeld wieder zum Absatz. Diese paarweise Anordnung der äolischen Erosions- und Sedimentationsformen ist für die Elbe-Niederterrasse zwischen Gartow und Gorleben charakteristisch. Das Weiße Moor selbst enthält und enthielt keinen Torf. Es wird von einer nur bis 1 m mächtigen, jüngeren Flugsanddecke eingenommen. Zwischen dieser dünnen Decke und den Niederterrassensanden liegt eine Steinsohle, d.h. ein Restsediment, welches ebenfalls auf die holozäne Auswehung hindeutet (Abb. 26).

Auch die Niederterrassen-Basis im Untergrund des Weißen Moores läßt keine subrosive Absenkung erkennen. Vielmehr paust sich

bis zu ihr eine warthestadiale Stauchmoräne als Erhebung durch. Erst die drenthestadialen Ablagerungen im tieferen Untergrund sind großflächig eingemuldet. Diese fossile Subrosionssenke reicht aber über die Grenzen des Weißen Moores hinaus (s. Kap. 5.2.4).

5.2.4 Subrosiv abgesenkte geologische Leithorizonte

Im Prinzip ist die morphologische Formenanalyse auf ältere Sedimentgesteine übertragbar; denn nicht nur rezente, sondern auch fossile Subrosionssenken über Salzstöcken enthalten "durchhängende" Schichten und Leithorizonte. Bei der synsedimentären Subrosion zeigen die abgesenkten Schichten positive Mächtigkeitsanomalien und manchmal auch Änderungen der Lithofazies. Bei der postsedimentären Subrosion fehlen diese Merkmale. In beiden Fällen ist die Methode aber nur dann zuverlässig, wenn die Salzablaugung nicht durch andere, intensivere Vorgänge überlagert wird.

Zwischen den Glätscherablagerungen der Elster- und Saale-Eiszeit schalten sich in der Gorlebener Rinne (Abb. 5) bis 27 m mächtige, schluffig-tonige See- und Meeresablagerungen der Holstein-Warmzeit ein. Nach den geologischen und pollenanalytischen Bohrbefunden handelt es sich in beiden Fällen um eine Flachwasserfazies, die in ungestörter primärer Position etwa bei 30-50 m unter NN auftritt.

In diesem Niveau liegen die Holstein-Tone auch außerhalb des Salzstockgebietes. Über dem Salzstock sind sie jedoch bis etwa 100 m tiefer abgesenkt (Abb. 27). Von dieser lokalen Absenkung sind auch die elstereiszeitlichen Schichten im Liegenden und die saaleeiszeitlichen im Hangenden betroffen.

Das Profil zeigt ferner, daß die Mächtigkeiten des Holstein-Tones und des spätelstereiszeitlichen Lauenburger Tones zur Einmuldung hin abnehmen. Die elstereiszeitlichen Nachschütt-sande zwischen Lauenburger und Holstein-Ton keilen sogar aus.

Wäre die Einmuldung schon in der Endphase der Elster-Eiszeit und in der Holstein-Warmzeit vorhanden gewesen, dann müßten darin die o.g. Schichten, entsprechend der höheren Wassersäule, umgekehrt an Mächtigkeit zunehmen. Statt dessen sind die saaleeiszeitlichen Schmelzwassersande und Beckenschluffe in der Subrosionssenke durch positive Mächtigkeitsanomalien gekennzeichnet.

Diese paradoxen Lagerungs- und Mächtigkeitsverhältnisse können nur durch eine paläomorphologische Reliefumkehr von einer Vollform zu einer Hohlform infolge von subrosiver Absenkung in der Saale-Eiszeit geologisch sinnvoll erklärt werden. Da der Warthe-Geschiebemergel von der subrosiven Versackung nur unerheblich betroffen ist, wurde für die Berechnung der Subrosionsrate nur das Drenthe-Stadium der Saale-Eiszeit zugrundegelegt. Ergebnis: 1,5-1,9 mm/Jahr (DUPHORN 1983, US-Nr. 0052). Bei diesen Werten kann es sich aber nur um eine maximale Größenordnung handeln, weil die Kompaktion der elstereiszeitlichen Rinnenfüllung nicht bekannt ist. In einem Parallel-Gutachten wird sich APPEL (MU 1993) speziell mit der Problematik der postholsteinzeitlichen Subrosion am Salzstock Gorleben befassen.

Im Info-Blatt 3/85 der PTB wird meine subrosive Deutung als unrichtig angesehen, "weil die Lageveränderungen der Holsteinschichten weitgehend auf Verschuppung durch Gletschereis zurückgehen". Das Gletschereis stapelt aber - im Gegensatz zu den Endlagergraben - lieber hoch als tief, es sei denn, es fließt in eine Hohlform hinein. Das Profil in der Abb. 27 zeigt in der Bohrung GoHy 840 eine Holstein-Schuppe, die vom Drenthe-Eis seitlich in die Subrosionssenke hineingeschoben wurde. Etwa 60 m tiefer folgen in derselben Bohrung erneut die Holsteinschichten, diesmal aber im normalen Schichtenverband, der infolge der saaleeiszeitlichen Subrosion so tief abgesenkt wurde.

Auch die BGR (1983: 26) sieht meine Interpretation als unrichtig an. Dabei hat sie selbst in ihrem Zwischenbericht zum hydrogeologischen Untersuchungsprogramm Gorleben vom März 1982 (S. 16) diese Interpretation mit folgenden Worten vorweggenommen:

"Die Schnitte A, D zeigen, daß die Unterkante der holsteinzeitlichen Ablagerungen im zentralen Rinnenbereich (etwas östlich des Weißen Moores) am tiefsten liegt. Als Grund hierfür wird eine bevorzugte Ablaugung des Salzstockes an der Rinnensohle während der nachfolgenden Saale-Kaltzeit angenommen".

Die Abb. 27 zeigt, daß nur das zentrale Salzstockgebiet von der saaleeiszeitlichen Subrosion betroffen war. Diese Subrosion kann nur in den wärmeren eisfreien Interstadialen und Intervallen der Saale-Eiszeit stattgefunden haben.

Die "inneren Widersprüche" der Endlagergrerien setzen sich auch in der altquartären Subrosionssenke fort. Das geologische Profil in der Abb. 30 zeigt, daß die altquartären Fluß- und See-Sedimente auf dem Salzstock Gorleben, die infolge von Salzablaugung in eine bis 300 m tiefere Position versackten (s. Kap. 5.1), nur noch im tiefsten Teil der Ablaugungssenke über dem Südteil des Salzstockes erhalten geblieben sind. An beiden Rändern wurden sie vom Elster-Eis und seinen Schmelzwässern ausgeräumt. Sie müssen also früher eine größere Verbreitung besessen haben. Präglaziale Fremdeinschlüsse (Feinsande, gut gerundete Quarz- und Quarzitgerölle, Pollenkörner) im Gipshut einer Bohrung im nördlichen Salzstockgebiet (GoHy 1171) bestätigen die Annahme der BGR (1982: 19):

"Die Ablagerungen des präglazialen Altquartärs sind Zeugen einer damaligen Subrosionssenke, die den größten Teil der Salzstockoberfläche erfaßt haben dürfte".

Ein Jahr später (BGR 1983: 11) wurde diese Annahme jedoch ohne fachliche Begründung als spekulativ kritisiert. Das war aber nicht etwa selbstkritisch gemeint. Kritisiert wurde der Verfasser der vorliegenden Studie, weil er bei der gemeinsamen Interpretationsbasis geblieben war (DUPHORN 1983, US-Nr. 0052).

Die Holsteintone sind im südlichen Salzstockgebiet - im Gegensatz zum zentralen - nicht mitversackt; die großflächige Subrosion war demnach hier spätestens in der Holstein-Warmzeit beendet. Die bavel- bis elstereiszeitliche Subrosionsrate beträgt im Durchschnitt 0,4-0,5 mm/Jahr, das Ablaugungsvolumen bei einer konservativen Abschätzung etwa 3 km³ (DUPHORN 1983, US-Nr. 0052).

Mit Abstand am stärksten war die Subrosion in der Elster-Eiszeit, als die Gorlebener Rinne in den oberen Teil des Salzstockes eingeschnitten wurde (Kap. 5.3). Zieht man den elstereiszeitlichen Hauptanteil von der o.g. Subrosionsrate (0,4-0,5 mm/Jahr) ab, ergibt sich für die voraufgegangene Präglazialzeit eine gute Übereinstimmung mit der von MÜLLER (1986) von einem anderen methodischen Ansatz her errechneten Subrosionsrate für die bavel- bis cromerzeitlichen Sedimente (0,1-0,2 mm/Jahr).

5.2.5 Grundwasserströmungs-Modelle

In der Gorlebener Rinne (s. Abb. 4, 5 u. Kap. 5.3) steigt örtlich versalzenes Tiefenwasser bis in das oberflächennahe Grundwasser auf (BESENECKER u.a. 1983, BROSE & BRÜHL 1986). Mit numerischen Modellen kann man sowohl die Laufzeiten und -richtungen des Grundwassers von der Salzstock- bis zur Erdoberfläche als auch die Subrosionsrate berechnen.

Nach den Grundwasserströmungs-Modellen der BGR (1983) betragen die derzeitige Subrosionsrate des Salzstockes Gorleben

0,3 bis 1,2 mm/Jahr (s. Tab. 4), das Ablaugungsvolumen 3000 bis 12 000 m³/Jahr und die Fließzeiten des Grundwassers von der Gipshutoberfläche bis zur Erdoberfläche nur etwa 600 bis 3700 Jahre. Dabei wurden weder die Dichteschichtung des Grundwassers noch die Dispersion oder die Sorption berücksichtigt. Es ist aber "nicht zu erwarten, daß sich die Fließzeiten durch eventuelle Korrekturen am Modell wesentlich, d.h. um Größenordnungen, ändern" (BGR 1985: 90).

Inzwischen sind neue Werte hinzugekommen:

BGR (1984, US-Nr. 0002): Ca. 1000 bis mehrere 1000 Jahre.

BGR/NLFB (1985) : 1000 bis 5000 Jahre.

BGR (1987, US-Nr. 0003) : 4000 bis 17.000 Jahre.

Salzverluste 500-2000 m³/Jahr.

Subrosionsrate 0,05-0,2 mm/Jahr.

Die Endlagergremien berücksichtigen bei ihren Sicherheitsprognosen nicht die Gesamtspanne der numerischen Modelle, sondern nur die "relativ endlagerfreundlichen" Werte von 1987.

5.2.6 Quartäre Gipshut-Neubildung

In 28 Bohrungen wurde das nach der Elster-Eiszeit am Salzspiegel neugebildete geschichtete Gips/Anhydritgestein festgestellt (Kap. 3.4 u. Abb. 23). Diese Beobachtung gab Anlaß, die postelstereiszeitliche Subrosionsrate aus dem Verhältnis des Gips/Anhydrit-Neuzuwachses zur Postelsterzeit (ca. 300.000 Jahre) zu berechnen. Ergebnis: 0,04 mm/Jahr (BGR 1990), BORNE-MANN & FISCHBECK (1986).

Nach der Darstellung bei der Sitzung der Gorlebenkommission des Landkreises Lüchow-Dannenberg am 18.1.1991 in Gorleben soll es sich um eine "unanfechtbare Methode" handeln, gegen die auch der Autor der vorliegenden Studie "keine substantielle Kritik" vorgebracht habe (Elbe-Jeetzel-Zeitung 19.1.1991 und Sitzungsprotokoll). Hierzu DUPHORN & RICHTER (1987):

Diese Methode "ist vom Ansatz her neu und interessant. Daher sollte sie zunächst erst einmal einer Fehlerbeurteilung unterzogen werden. Folgende Prozesse, welche die Berechnung erheblich verfälschen können, dürfen seit der Elster-Eiszeit nicht stattgefunden haben:

- 1) Laterale Umlagerungen der schwer- und unlöslichen Salzgesteine (Anhydrit, Tonstein) in klastischer Form in den Solegerinnen am Salzspiegel (s. BATSCHE & KLARR 1980, BAUER & SESSLER 1985).
- 2) Lösung des Salzstock-Anhydrits in ungesättigten Ab-
laugungswässern, laterale und vertikale Migration der
gelösten Sulfat-Anteile.
- 3) Wiederausfällung von sekundärem Anhydrit aus sulfati-
schen Ab-
laugungswässern inmitten des Gipshutes ein-
schließlich der elstereiszeitlichen Hutgesteinsbrekzie.

Ad 1) Nach den Schichtenverzeichnissen der BGR sowie nach eigenen Beobachtungen an 4 Tiefbohrungen und an etwa zwei Dritteln der insgesamt 44 Salzspiegelbohrungen scheint dieses Kriterium erfüllt zu sein.

Ad 2) Über dem Salzstock Gorleben steigen NaCl-Wässer mit teilweise hohem Sulfat-Anteil bis in das erdoberflächennahe Grundwasser auf (BROSE & BRÜHL 1986). Die chloridische Versalzung kann auf die Auflösung von Steinsalz zurückgeführt werden, die sulfatische auf die Auflösung von Gips und/oder Anhydrit. Inwieweit daran Anteile von Ab-
laugungs- bzw. Gipshutwässern beteiligt sind, das ist nach Auffassung der beiden o.g. Autoren noch nicht geklärt. Unter bestimmten physikochemischen Bedingungen bildet auch Anhydrit die stabile Phase und ist dann relativ gut löslich (BRAITSCH 1962).

Ad 3) Neubildungen von sekundärem Matrixanhydrit inmitten der elstereiszeitlichen Hutgesteinsbrekzie werden im Kap. 5 beschrieben. Auch hierbei ist noch nicht geklärt, inwieweit daran Anteile von Ablaugungs- bzw. Gipshutwässern beteiligt sind.

Fazit: Hinter den Kriterien 2 und 3 stehen Fragezeichen. Bei BORNEMANN & FISCHBECK (1986) bleiben die unter 2) und 3) genannten Bohrbefunde unerwähnt. Somit bleiben auch hinter ihrer Subrosionsrate, die nur auf dem Gips- und Anhydritzuwachs beruht, gleich zwei Fragezeichen stehen".

BORNEMANN (1991) bzw. BFS (1991, US-Nr. 0049) lassen meine 4 Jahre vor der o.g. Gorlebenkommissions-Sitzung in einer wissenschaftlichen Fachzeitschrift geäußerten Bedenken nicht gelten. Sie widersprechen sich dabei aber selbst, denn einerseits betonen sie,

"daß die Neubildung von Anhydrit nicht zur Bildung eines neuen Hutgesteins führte" (BFS 1991: 60),

andererseits sprechen sie aber bei der nachelstereiszeitlichen Hutgesteinsbildung selbst vom "geschichteten Gips/Anhydritgestein" (s. Abb. 23). Außerdem behaupten sie,

"daß selbst in der Phase der Umwandlung keine größeren Mengen des Sulfatgesteines in gelöster Form abgewandert sind" (BFS 1991: 60);

sie gehen aber nicht der Frage nach, wo die von BROSE & BRÜHL (1986) analysierte Sulfatfazies im Soleaufstiegswasser herkommt. Beide Anteile, die Sulfatfazies im Soleaufstiegswasser und der quartäre Sekundäranhydrit in der elstereiszeitlichen Gipshutbrekzie müssen noch quantitativ ermittelt und addiert werden. Erst dann erhält diese Subrosionsrate einen wissenschaftlichen Wert.

5.3 Elstereiszeitliche Erosionsrinnen und Laugungskolke im oberen Teil des Salzstockes

Der über 300 m tiefe Einschnitt der Gorlebener Rinne, über deren Maximaltiefe die Endlagergremien noch uneins sind, wurde bereits im Kap. 2.4 übersichtsmäßig beschrieben. Diese Übersicht wird hier durch sicherheitsrelevante Details ergänzt.

Aufgrund des dichten Bohrnetzes konnten bereits 1983 die Anteile des Gletscherschurfes (Exaration) und der glazihydromechanischen Schmelzwassererosion an der Eintiefung der Gorlebener Rinne ausplanimetriert werden. Ergebnis:

- 1) Exaration: Auf einer Fläche von ca. $2,5 \text{ km}^2$ liegt bis 70 m mächtiger elstereiszeitlicher Geschiebemergel (Grundwasserhemmer) über dem Gipshut.
- 2) Erosion: Auf einer Fläche von ca. $7,5 \text{ km}^2$ liegen elstereiszeitliche Schmelzwassersande und -kiese über dem Gipshut, in drei Bohrungen sogar über dem Steinsalz des Salzstockes selbst. Diese Schmelzwassersande sind gute bis sehr gute Grundwasserleiter und erreichen eine Mächtigkeit von über 100 m (DUPHORN 1983, US-Nr. 0052).

Daraus ergibt sich, daß bei der erosiven Eintiefung der Gorlebener Rinne in die tertiären Deckschichten und in den Gipshut des Salzstockes in einem Tunnelstal unter dem Elster-Eis die Schmelzwassererosion gegenüber dem Tiefenschurf des Gletschereises dominierte. Somit dominieren aber auch die hydraulischen Kontakte zwischen dem Kluftwasser des Gipshutes und dem Porenwasser der quartären Grundwasserleiter im Hangenden.

Mit der "hydraulischen Entblößung" des Salzstockes Gorleben unter dem Elster-Eis (Abb. 31) wurde der Subrosion während des geologischen Bewertungszeitraumes der PTB/BfS (nach der Diapirphase vor ca. 1 Million Jahren) zum zweiten Mal Tür und Tor geöffnet. Die Nachwirkungen dieses tiefen und großflächigen

Einschnittes in den oberen Teil des geologischen Systems Salzstock halten in Form von Soleaufstiegswasser bis in die Gegenwart an (Kap. 5.2.5).

Das größte hydrogeologische Gefährdungspotential steckt jedoch nicht in der Großform der Gorlebener Rinne selbst, sondern in ihren Ausläufern, die in den oberen Teil des Salzstockes hineinreichen: In der elstereiszeitlichen Hutgesteinsbrekzie und besonders in den Erosions- und Laugungskolken längs des sehr leicht löslichen carnallitischen Kaliflözes Staßfurt unterhalb des Salzspiegels.

Die Hutgesteins- bzw. Gipshutbrekzie wurde bereits in Kap. 3.4 beschrieben. An dessen Ende findet sich ein Hinweis auf ein weiteres Informations- und Bewertungsdefizit. Es fehlt nämlich nicht nur eine Karte, welche die Verbreitung und die Mächtigkeit der Hutgesteinsbrekzie zeigt, sondern auch eine modellhafte geophysikalische Erklärung dafür, warum sich die Gorlebener Rinne so tief bis in den Gipshut einschneiden konnte, warum sich die glazifluviatile Gipshutbrekzie nur am Salzspiegel gebildet hat und wie das unterströmende Schmelzwasser den gesamten Gipshut und seine tertiären Deckschichten, d.h. ein insgesamt bis über 100 m mächtiges Schichtenpaket bis zu 36 m en bloc anheben konnte. Die 36 m beziehen sich auf die in der Anlage 17 der BfS (US-Nr. 0049) dargestellte Maximalmächtigkeit der Hutgesteinsbrekzie.

Dieses geophysikalische Modell wurde in der BGR von DELISLE (1988, 1989) entwickelt und dort auch archiviert. Auch in die Literaturverzeichnisse von BGR (1991, US-Nr. 0048) und BfS (1991, US-Nr. 0049) hat es Eingang gefunden. Im Text dieser US-Berichte sucht man danach aber vergeblich. Hiermit wird empfohlen, es auch den US-Berichten selbst beizufügen.

Die Anfänge dieses Modelles reichen bis zu einer gemeinsamen Antarktis-Expedition 1983/84 zurück. Dort konnten wir die grossen Übertiefungen unter und die vielen Schmelzwasserseen auf

dem Gletschereis sehen und glazialgeologisch untersuchen. Dabei drängten sich Vergleiche mit dem norddeutschen Vereisungsgebiet und auch mit der Gorlebener Rinne geradezu auf. Und daher kann auch dieses Versäumnis des Gorleben-Forschungsmanagements hier zumindest ansatzweise nachgeholt werden. Die Angaben und Ideen stammen größtenteils von G. DELISLE und teils von mir.

Die Abbildung 32 zeigt modellhaft die Begegnung des Salzstokes Gorleben mit dem Elster-Eis in der zu drei Vierteln vom Schmelzwasser und zu einem Viertel vom Gletschereis ausgeräumten Gorlebener Rinne. Voraussetzungen für die glazifluviale Tiefenerosion waren eine große Eismächtigkeit, eine hydraulische Verbindung im Eiskarst von der mit Schmelzwasserseen bedeckten Eisoberfläche bis zum Tunneltal der Rinne und eine große Schuttfracht von Sanden und Kiesen, die als Erosionswaffen wirkten. Unter diesen Rahmenbedingungen konnte sich im Tunneltal ein hoher hydrostatischer Überdruck mit sehr starker tiefenerosiver Wirkung entwickeln.

Die BGR (1991: 180, US-Nr. 0048) nimmt eine Eismächtigkeit von mindestens 800-1000 m an. Diese Annahme stimmt auch mit meiner Darstellung in der Abb. 32 überein. Dieser Schätzung liegen die Gefällekurven des derzeitigen Inlandeises und die Entfernung von Gorleben bis zum Außenrand des Elster-Eises im Thüringer Becken (ca. 250 km) zugrunde. Zwei andere wesentliche Faktoren blieben dabei jedoch unberücksichtigt:

1) Die glazialisostatische Absenkung der Erdkruste im Raum Gorleben unter dem Elster-Eis. Sie kann bei einer Eismächtigkeit von etwa 1500 m auf etwa 200 m geschätzt werden.

2) Der Höhenunterschied zwischen Gorleben und dem Thüringer Becken. Eigene Nachprüfungen im Raum Jena-Weimar haben ergeben, daß dort Grundmoränendecken des Elster-Eises bei etwa 250 m und erratische Geschiebe bei etwa 300 m über NN liegen. Im Raum Gorleben hingegen lag die Eisbasis außerhalb der Rinnen etwa bei 100 m unter NN (Abb. 30). Die Eisbasis lag somit bei Jena und Weimar etwa 400 m höher als bei Gorleben.

Unter Berücksichtigung dieser beiden neuen Werte (200 m + 400 m) erhöht sich die Mächtigkeit des Elster-Eises über dem Salzstock Gorleben auf etwa 1500 m. Dementsprechend größer war das hydraulische Potentialgefälle zwischen Eisoberfläche und Tunnel-tal.

Ohne diese glazialhydrogeologische Ausnahmesituation ist die Rinnenbildung in dieser Größenordnung nicht zu verstehen. Das Verständnis wird durch Messungen der rezenten Erosionsleistung von Schmelzwässern unter Gletschern der französischen Alpen erleichtert. Dort wurden Gletscherstollen zur Wasser- und Stromgewinnung gebaut. Messungen auf Testfeldern an der Gletschersohle ergaben trotz niedrigeren hydrostatischen Überdruckes und harter Festgesteine relativ hohe Erosionsraten (VIVIAN 1975):

5-10 cm in einem Jahr auf Simplongranit. 10 cm auf noch härterem Quarzit. Die ersten Gletscherschrammen auf Granit zeigten sich bereits nach 20 Tagen.

Überträgt man die Graniterosionsrate schematisch und hypothetisch auf die Gorlebener Rinne, so ergäbe sich für deren Eintiefung von etwa 50 m unter NN auf etwa 300 m unter NN eine geologisch kurze Zeitdauer von 2500-5000 Jahren.

Ohne die o.g. Rahmenbedingungen ist auch die großflächige Einspülung von Schmelzwässern aus der Gorlebener Rinne in den unteren Teil des Gipshutes, die zur Bildung der bis mindestens 36 m mächtigen Gipshut- bzw. Hutgesteinsbrekzie führte, nicht zu verstehen. Nach DELISLE wurde diese seitliche Unterströmung entlang des Salzspiegels durch warmes Soleaufstiegswasser gesteuert, welches unter dem subglaziären Dauerfrostboden im ungefrorenen salzspiegelnahen Teil des Gipshutes vorhanden war.

Unter den o.g. Rahmenbedingungen konnte der hydraulische Druck am Grunde der Gorlebener Rinne und des Gipshutes den Gebirgsdruck des Eises um 1 - 2 Bar übersteigen. Wahrscheinlich ist

ein großer Gletschersee angezapft worden und schlagartig in das Tunneltal der Gorlebener Rinne ausgelaufen. In Island sind solche katastrophalen "Gletscherläufe" gefürchtet. Dort werden sie allerdings hauptsächlich durch vulkanische Aufschmelzung des Gletschereises ausgelöst. Außerdem wäre ein katastrophaler Wasserausbruch an der Gletscherstirn nach dem Auftauen des abdämmenden Permafrostriegels unter dem wärmeisolierenden Gletschereis denkbar (PIOTROWSKI 1991).

Wie dem auch sei: Es standen genug Wasser und hydrostatischer Überdruck zur Verfügung, um den unterströmten Gipshut und seine Deckschichten ähnlich dem in der Technik angewendeten Fracturing-Verfahren bis zu 36 m anzuheben. Dabei wurde der abrupt entstandene Hohlraum mit der mitgeführten Sand- und Kiesfracht und mit vielen Bruchstücken aus dem zertrümmerten Teil des Gipshutes verfüllt. Nach eigenen Bohraufnahmen war die seitliche Unterströmung so stark und turbulent, daß Schmelzwasser mitsamt seiner Schuttfracht vom über 200 m tiefen Hauptteil der Gorlebener Rinne aus entlang des Salzspiegels bis 1 km, an einer Scholle sogar bis 2 km weit eingepreßt werden und den Gipshut und seine tertiären Deckschichten im Hangenden nach oben abheben konnte.

Spätestens hier stellt sich dem Leser die Frage, warum diese erdweit einzigartigen und sicherheitlich relevanten glazialgeologischen Erkenntnisse weder in den US-Berichten noch in den wissenschaftlichen Veröffentlichungen der Endlagergremien berücksichtigt worden sind.

Die elstereiszeitlichen Erosions- und Laugungskolke im Salzstock unterhalb des Salzspiegels wurden bereits im Kap. 2.4 erwähnt. Von ihnen geht das größte exogene Gefährdungspotential aus. Anhand des einzigen gezielt auf sie angesetzten Bohrprofiles werden sie im folgenden mehr im Detail beschrieben.

Aufgrund der exzessiven elstereiszeitlichen Erosions- und Subrosionsaktivitäten wurde schon früher warnend darauf hingewiesen, daß an denjenigen Stellen, wo die sehr leicht löslichen Kalisalz-Schichten vom Salzspiegel gekappt werden, die selektive Tiefensubrosion der allgemeinen Lösungsfront am Salzspiegel linear weit in den Salzstock hinein vorausgeeilt sein kann (DUPHORN 1984).

Dieser Hinweis wurde 1984 durch ein gezielt abgeteuftes Bohrprofil der BGR im NW-Teil der Gorlebener Rinne bestätigt (Abb. 32). Das Profil verläuft quer zum Streichen der Salzschiechten. Letztere sind überkippt. Über dem Gipshut liegen tonige Deckschichten des Alttertiärs. Zwischen den Bohrungen GoHy 1141 und 1305 sind vom zentralen Teil der Rinne her elstereiszeitliche Schmelzwassersande seitlich in den Gipshut eingespült worden (Hutgesteinsbrekzie).

Zwischen den Bohrungen GoHy 1301 und 1305 ist das Staßfurt-Steinsalz zerklüftet. Auf diesen Klüften setzen sich die elstereiszeitlichen Sandeinspülungen aus der Hutgesteinsbrekzie in das Salzgebirge hinein fort. In der Bohrung GoHy 1303 ist das carnallitische Kaliflöz Staßfurt bis 92 m unter dem Salzspiegel abgelautet und teilweise durch bis 2 m mächtige elstereiszeitliche Schmelzwassersande bzw. -sandsteine ersetzt. "Der

Einfluß von Lösungen, die das Kalilager umwandeln, reicht ca. 140-170 m unter den Salzspiegel" (BORNEMANN & FISCHBECK 1986, S. 71). Erst die Bohrung GoHy 1305 erreichte den unveränderten Carnallitit.

In den im Staßfurt-Steinsalz eingeschlossenen elstereiszeitlichen Sanden bzw. Sandsteinen der Bohrung GoHy 1303 hat die BGR bei ca. 350 m unter Gelände eine Porosität in der Größenordnung von 35 % ermittelt, so daß nach ihrer Ansicht hier Wasserwegsamkeiten vorhanden sein müssen. Die Temperaturmessungen der BGR in diesem Bereich ergaben Fließbewegungen im Bohrloch.

Anhand dieses Beispiels läßt sich beispielhaft zeigen, wie verzerrt Bohr- und Meßbefunde nach außen dargestellt werden können. Hierzu das BfS (1990: 47, US-Nr. 0026):

"Tests in den Bohrungen GoHy 1304 und GoHy 1305 haben ergeben, daß das Salzgebirge abgesehen vom allerhöchsten Abschnitt im technischen Sinne als dicht angesehen werden muß".

Gemeint sind hydrogeologische Packertests. Warum wurde die Bohrung GoHy 1303 mit den porösen Schmelzwassersanden dabei ausgespart?

Das Kaliflöz Staßfurt tritt im zentralen Salzstockgebiet in drei Strängen auf (Abb. 21 u. 22). Es wird dort auf einer Gesamtlänge von etwa 25 km vom Salzspiegel gekappt. Nach meiner bereits früher geäußerten Meinung (DUPHORN 1986: 113)

"ist es sicherheitstechnisch opportun, bis zum Beweise des Gegenteils davon auszugehen, daß das elstereiszeitliche Schmelzwasser nicht gleich im ersten Bohrprofil, das gezielt auf die selektive Ablaugung des Kaliflözes angesetzt wurde, am tiefsten in den Salzstock eingedrungen ist".

Auch die Niedersächsische Landesregierung schließt in einer Erklärung vom 18.9.1987 diese sandigen Porenwasserleiter im durch Klüfte und Lösungskolke zerrütteten oberen Teil des Salzstockes als "eine Schwächung der Salzbarriere in diesem Bereich für das geplante Endlager gegenüber den bisherigen Annahmen" nicht mehr aus. In einer Pressemitteilung vom 12.2.1988 hat sie meiner gutachterlichen Empfehlung (DUPHORN 1988), dem Schachtabteufen "weitere obertägige Erkundungsbohrungen vorzuschalten, um den Sandeintrag im oberen Teil des Salzstockes zusätzlich zu untersuchen", mit der Bestätigung zugestimmt, daß die PTB dies "bei der weiteren Erkundung berücksichtigt". Bisher wurde jedoch nicht eine einzige Nachbohrung abgeteuft (s. Kap. 7.4, 8.1 und 9).

5.4 Makro-Deformationen durch eiszeitlichen Gletscherschub

In der Elster-Eiszeit wurde der Salzstock Gorleben zweimal und in der Saale-Eiszeit dreimal vom skandinavischen Inlandeis überfahren. Dabei wurde der Untergrund durch die Auflast und die Schubspannung des bis etwa 1500 m mächtigen Gletschereises an vielen Stellen gestaucht, verschuppt und gefaltet. Besonders leicht faltbar waren die tertiären und quartären Tone und Schluffe. So entstanden eis- bzw. glazitektonische Strukturen, die in Form von Stauchmoränen auch morphologisch in Erscheinung treten.

In den hydrogeologischen Aufschlußbohrungen bei Gorleben wurden mehrfach eistektonische Schollen angetroffen. In der Bohrung GoHy 110, bei Gedelitz, steckte eine große Scholle aus intaktem Miozän-Ton in einer Teufe von 56,1 m-106,3 m zwischen zwei quartären Geschiebemergeln, von denen der untere nur 20 cm mächtig war (DUPHORN 1983, US-Nr. 0052).

Die H hbeck-Stauchmoräne, die dem Nordteil des Salzstockes Gorleben aufsitzt (Abb. 3), ist ein Musterbeispiel für glazitektonischen Faltenschuppenbau großer Dimension. Man findet in ihr sämtliche Gefügeelemente der alpinen Tektonik bis hin zu Isoklinal-, Koffer- und Liegendfalten und zur Boudinage. Im folgenden wird diese Stauchmoräne exemplarisch beschrieben.

Der komplizierte eistektonische Falten- und Schollenbau des H hbeck konnte durch eine quartärgeologische Spezialkartierung im Maßstab 1:5000 geklärt werden. Allerdings mußte der Bohrabstand häufig auf wenige Meter verringert werden. Insgesamt wurden auf dem nur ca. 10 km² großen H hbeck über 2400 Handbohrungen niedergebracht, das heißt im Durchschnitt 240 Bohrungen pro km² (DUPHORN 1980, 1983, US-Nr. 0052).

Die Geest-Insel des H hbeck ragt mit steilen Nord- und Osth ngen bis zu einer Höhe von 76 m  . NN aus der flachen Elbaue auf, die zwischen 15 und 20 m  . NN liegt. Der zentrale Teil des H hbeck wird von einem flachwelligen Hochplateau eingenommen, das sich flach nach Süden und Westen zur Seege-Niederung abdacht.

Die geologischen Haupteinheiten sind auf der geologischen Karte (s. Abb. 33) dargestellt. Im Ostteil des H hbeck fallen langgestreckte, WNW-ESE verlaufende Geschiebemergelr cken auf. Es handelt sich um Stauchmoränen, die im wesentlichen aus Ablagerungen des Drenthe- Stadiums aufgebaut sind. Dazwischen sind Schmelzwassersande verbreitet. Vereinzelt sind Tone aus dem Tertiär, der Elster-Eiszeit (Lauenburger Ton) und der Holstein-Warmzeit (in der Karte nicht untergliedert) in das eistektonische Stapelgef ge eingeschuppt. Bei der Oberflächenkartierung haben wir auf der saaleeiszeitlichen H hbeck-Stauchmoräne noch bei 20 m über NN eine Schuppe aus Holstein-Ton erbohrt, Lauenburger Ton sogar bis 40 m.

Bei einer Fahrt von Brünkendorf über den Höhbeck zur Schwedenschanze ist das wellblechartige Stauchmoränen-Relief nicht zu übersehen. Die Geschiebemergel bilden die Wellenberge, die lockeren, leichter abtragbaren Schmelzwassersande die Wellentäler (s. Abb. 34). Der Tiefgang der eistektonischen Stauchstrukturen beträgt maximal ca. 150 m.

Der Westteil des Höhbeck zeigt ein einfacheres Bild. Großflächig liegt hier ein warthestadialer Geschiebelehm (entkalkter Geschiebemergel) als "Deckmoräne" über den älteren Schichten. Nur an einigen Stellen treten ältere Schmelzwassersande zutage. Die Deckmoräne ist am Elbkliff bei Vietze aufgeschlossen. Oft liegt noch Fließerde oder Geschiebedecksand darüber (0,5-1,5 m).

Der eistektonische Falten- und Schollenbau des Höhbeck konnte in mehreren Tagesaufschlüssen beobachtet werden, z.B. in den Sandgruben Brünkendorf-Nord und -Süd sowie im Aufschluß Pevestorf-Nord, an der sogen. Fuchshalle. In der Sandgrube Brünkendorf-Nord (s. Abb. 35) hat das Gletschereis drenthestadiale Beckensande und -schluffe zu einer stehenden Falte zusammengeschoben. Die Faltenachse streicht ESE-WNW. Dasselbe Streichen zeigen die eistektonischen Bruchstörungen, die den Faltenkern durchsetzen, und die o.g. Geschiebemergelrücken im Ostteil des Höhbeck. Der südliche Faltenschenkel (im Bild rechts) fällt steiler ein als der nördliche. Die Gefügemessungen deuten auf einen Eisschub aus NNE hin. Diese Richtung entspricht der Vorstoßrichtung des Drenthe-1-Eises.

An der Fuchshalle bei Pevestorf ist der intensiv gestauchte Geschiebemergel des Drenthe-2-Vorstoßes aufgeschlossen. Jungtertiäre Tone sind an eistektonischen Bewegungsflächen mit eingequetscht worden. Die Faltenachsen streichen NW-SE. Die Gefügemessungen deuten auf einen Eisschub aus NE hin. Diese Richtung entspricht der Vorstoßrichtung des Drenthe-2-Eises.

Einregelmessungen an Geschiebe-Längsachsen in der ungestörten Deckmoräne des Warthe-Stadiums am Elbkloff bei Vietze ergeben ein starkes Maximum in ENE-WSW-Richtung. Diese Richtung entspricht der Vorstoßrichtung des Warthe-Eises.

Aus der geologischen Spezialkartierung und den o.g. Gefügemessungen können somit drei verschiedene eistektonische Phasen abgeleitet werden, die den drei saaleeiszeitlichen Eisvorstößen entsprechen. Die Ergebnisse stehen im Einklang mit Ergebnissen aus dem Hamburger Raum (EHLERS 1990). Dort sind für die drei Saale-Vereisungen dieselben Vorstoßrichtungen ermittelt worden. Bemerkenswert ist, daß sich der drenthe-l-stadiaie Schollen- und Schuppenbau (WNW-ESE) im Ostteil des Höhbeck morphologisch bis heute durchpaust und daß der Drenthe-Geschiebemergel in den steilgestellten Schichtrippen nahezu unverwittert zutage kommt, weil die Abtragung stärker ist als die Verwitterung.

Aus hydro- und sicherheitsgeologischer Sicht ist der bis 150 m unter die Erdoberfläche hinabreichende Tiefgang der Stauchmoräne bemerkenswert. Die in ihr bis auf 20 m über NN aufgetreßten Holstein- und Tertiärtone, die große Lauenburger Ton-Scholle bei 40 m über NN unterhalb der Schwedenschanze sowie bis auf 50 m unter Gelände aufsteigendes Salzwasser bei Vietze am Westhang des Höhbeck deuten auf hydraulische Verbindungen zwischen der Salzstock- und der Erdoberfläche hin.

Die "schematischen hydrogeologischen Profile" der BGR (1991, US-Nr. 0048) und des BfS (1990, US-Nr. 0026) verdienen diese Bezeichnung zu Recht; denn im Gegensatz auch zum eigenen Text, in dem von "tiefgreifenden saalezeitlichen Stauchungen" die Rede ist (BfS 1990: 97), lassen diese Profile weder unter dem Höhbeck noch unter anderen Stauchmoränen hydrogeologische Fenster erkennen, in denen das untere Grundwasserstockwerk (unter dem aufgestauchten Lauenburger Ton) mit dem oberen verbunden ist. Statt dessen haben die Computer den Lauenburger Ton-Komplex sturheil in horizontaler Lagerung durchgezogen. Das gleiche gilt für die Karte der Dichteverteilung (BfS 1990: 172).

Damit werden die Stauchstrukturen und gravitativen Ausgleichsbewegungen trotz ihres geologisch nachgewiesenen Tiefganges bis 150 m kartographisch einfach "plattgemacht". Mit der geologischen Realität haben diese Darstellungen und die darauf aufbauenden numerischen Modelle nichts zu tun.

Noch ungeklärt sind der Tiefgang und die Intensität der elstereiszeitlichen Glazitektonik im Rinnenbereich. Auch ob die Gorlebener Rinne von staffelbruchartigen Störungen flankiert wird, ist unbekannt. In Braunkohlentagebauen der Lausitz sind solche Staffelbrüche aufgeschlossen (KÜHNER 1991). Nach den Schachtaufschlüssen zu schließen, scheinen aber die glazitektonischen Erscheinungen der Elster-Eiszeit - im Gegensatz zu den glazihydromechanischen (Kap. 5.3) - nur wenig auf den obersten Teil des Salzstockes eingewirkt zu haben. Im Schacht 1 klingen die glazitektonischen Aufschiebungen bereits in den oberen 8 Metern des Rupeltones aus (BGR 1992, US-Nr. 0046).

5.5 Mikro-Deformationen durch eiszeitlichen Gletscherdruck

Das Gefüge toniger Sedimente wird von physikalisch-chemischen Eigenschaften der Tonminerale und äußeren Krafteinwirkungen geprägt (s. Abb. 37).

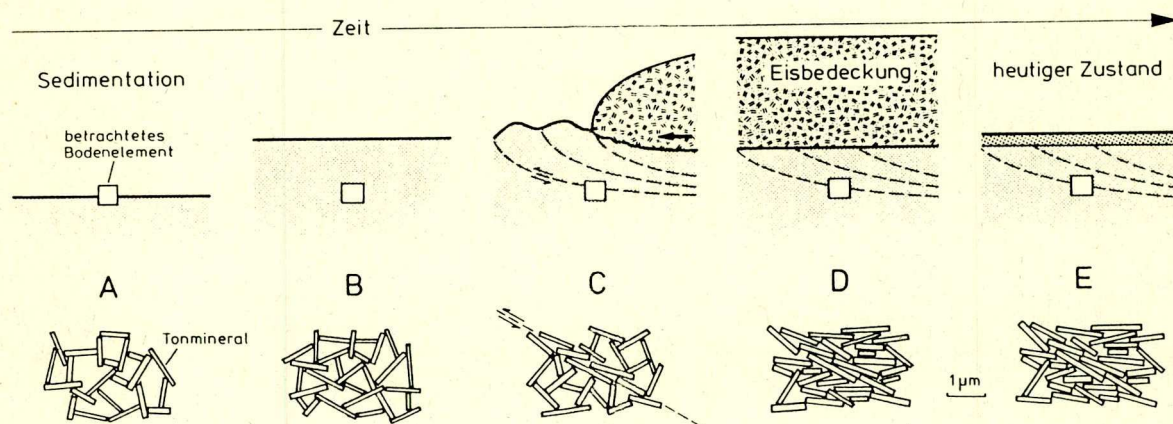
Bei der Sedimentation bilden sich im Mikrogefüge unregelmäßige "Kartenhaus-Komplexe" (A). Durch das Gewicht sich überlagernder Schichten tritt eine Konsolidation ein; Porosität und Gefüge ändern sich (B). Weitere Gefügeveränderungen rufen während einer Eiszeit Schubkräfte vorrückender Gletscher hervor (C). Es kommt zur Ausbildung von Scherklüften (s. Kap. 5.4). In der Phase der maximalen Eisbedeckung - im Raum Gorleben etwa 1500 m (s. Kap. 5.3) - kommt es zu einer Überkonsolidierung (D). Bei der Entlastung nach dem Abschmelzen des Eises

bleibt das überkonsolidierte Gefüge erhalten (E). Die Folge ist eine innere horizontale Verspannung im Sediment, die sich in einem überhöhten horizontalen Erdruhe-Spannungszustand und beim Anschnitt, z.B. beim Schachtabteufen in einem überhöhten seitlichen Gebirgsdruck äußert (FEESER 1986).

Im Raum Gorleben gilt dies in besonderem Maße für den in der Gorlebener Rinne bis 120 m mächtigen Lauenburger Ton-Komplex, aber auch für die tonigen Deckschichten des Alttertiärs. Es ist unverständlich, daß die vorliegenden US-Berichte (Stand 15.6.1993) keine Spannungs/Verformungsmessungen an diesen Sedimenten erkennen lassen. Offensichtlich sind die Zusammenhänge zwischen eiszeitlicher Vorbelastung, Gefüge und heutigem Spannungszustand weiterhin ungeklärt.

Die tonmechanischen Untersuchungen von FEESER (1988) erbrachten noch ein weiteres Gorleben-relevantes Ergebnis, das eigentlich in das Kap. 5.4 gehört. Die von ihm untersuchten Lauenburger Tone sind nämlich allesamt im gefrorenen Zustand vom Gletschereis aufgestaucht worden. Bei einer Aufstauchungshöhe von 150 m wie am Hühbeck hätte somit der Dauerfrostboden unter dem vorrückenden Elster-Eis und über dem Salzstock Gorleben eine Mindestmächtigkeit von 150 m besessen. Daraus ergeben sich interessante und auch sicherheitsgeologisch relevante Querbezüge zu den Kapiteln 5.6 und 6.1).

Abb. 37: Spannungsgeschichte der tonigen Deckschichten über dem Salzstock Gorleben infolge Eisauflast und glazialtektonischer Überprägung. Qualitative Rekonstruktion anhand der Symmetrien im Formungsplan der Teilgefüge. Nach FEESER (1986).



5.6 Frostrisse im eiszeitlich gefrorenen Teil des Salzstockes

Der morphologisch wirkungsvollste Sprengstoff auf der Erde ist der Frost. Kryogene Klüfte und Risse entstehen durch Kontraktion und Frostsprengung infolge starker Abkühlung. Auf diese Weise sind auch beim Schachtabteufen im Tiefkühlverfahren im oberen Teil des Salzstockes Gorleben die Kontraktionsrisse entstanden, auf denen die Laugen zufließen, die das Abteufen im Dezember 1991 fast ein halbes Jahr lang zum Stillstand brachten (Kap. 1.2).

Im Kap. 5.3 wurde im Zusammenhang mit der seitlichen Unterströmung des Gipshutes durch Schmelzwasser von der Gorlebener Rinne her auf die vom Salzwasser beeinflusste Untergrenze des elstereiszeitlichen Permafrostes im Bereich des Salzspiegels hingewiesen. Diese Untergrenze lag 50-100 m unter der Basis des Inlandeises. Außerhalb desselben, im sogen. Periglazialgebiet, hat sie mit Sicherheit erheblich tiefer gelegen, weil dort die wärmeisolierende Eisdecke fehlte und die geothermische Wärme unmittelbar in die Atmosphäre entweichen konnte (s.u.).

In der Gegenwart erreicht der Dauerfrostboden in Alaska mit etwa 600 m und in Sibirien mit etwa 1500 m seine größte Mächtigkeit (WOLDSTEDT & DUPHORN 1974, Mitteilung Prof. PINNEKER, Russische Akademie der Wissenschaften, Institut für die Erdkruste Sibiriens, April 1993). Wie tiefgründig die norddeutschen Periglazialgebiete in den quartären Eiszeiten dauerfrozen waren, ist aber nur unzureichend bekannt (EISSMANN 1981).

Tonmechanische Untersuchungsergebnisse von FEESER (1988) ergeben für die Vorstoßphase des Elster-Eises in Norddeutschland eine Mindestmächtigkeit des Dauerfrostbodens von 150 m (Kap. 5.5). In der Hohen Tatra wird für die älteren Eiszeiten mit Frostbodenmächtigkeiten bis etwa 400 m gerechnet (EISSMANN & HÄNSEL 1991). Noch 200 m tiefer, bis etwa 600 m unter Gelände, reichen postdiapirische Klüfte, die in ihrer Lagerung

nicht von den Innenstrukturen abhängig sind, in norddeutsche Salzstöcke hinein. Die Kluftfüllungen bestehen aus verschiedenen Sekundärsalzen und Ton. Die Tonfüllungen von Klüften des Salzstockes Bokeloh enthalten mesozoische und tertiäre Sporomorphen (BAUER 1991).

Somit können die Klüfte nicht älter als jungtertiär sein. BAUER's Deutung weist auf kryogene Kontraktionsrisse im eiszeitlichen Dauerfrostboden des Quartärs hin. Dessen Maximalmächtigkeit hätte somit im norddeutschen Periglazialgebiet etwa 600 m betragen. Davon könnte auch die 300 m-Sicherheitsschwebe der PTB/BfS über dem geplanten Endlagerniveau des Salzstockes Gorleben betroffen sein. Die Behauptung, daß die von BAUER (1991) vermessenen Kontraktionsrisse "zur Tiefe hin rasch ausklingen" (BfS 1990: 254, US-Nr. 0026), stimmt nicht mit dem o.g. Maximalwert von etwa 600 m überein (Kap. 6.1).

6. Geologische Langzeitprognose

Die geologische und geotechnische Langzeitprognose des BfS (1990, Kap. 4.10, US-Nr. 0026) über das Verhalten der vorhandenen geologischen Barrieren unter Berücksichtigung von Salzaufstieg, Salzablaugung, Eiszeiten und Tundrazzeiten kommt zu der Schlußfolgerung, daß das mit geologischen Systemen erreichbare Isolationsvermögen am Standort Gorleben erreicht wird.

Als Planungsvorgaben für die Langzeitprognosen haben die Endlagergremien zwei Grenzwerte festgelegt:

Etwa 1 Million Jahre für den geologischen Bewertungszeitraum und etwa 10.000 Jahre für die nuklearmedizinische Sicherheitsanalyse.

Bei letzterer wird durch Modellrechnungen ermittelt, nach welcher Zeit im potentiellen Störfall welche Radionuklide auf welchem Wasserpfad aus dem Endlager in die Biosphäre gelangen und zu welcher Strahlenbelastung sie führen können (PSE 1985, MEMMERT 1991). Die definitive Sicherheitsanalyse soll nach Abschluß der untertägigen Erkundung durchgeführt werden. Ein Endlager gilt als sicher, wenn die in den nächsten 10.000 Jahren entwichenen Radionuklide beim Menschen nicht zu Individualdosen führen, die die Grenzwerte des § 45 der Strahlenschutzverordnung übersteigen.

Die zeitliche Begrenzung der Sicherheitsanalyse auf etwa 10.000 Jahre wird von der PTB "unter Berücksichtigung der menschlichen Einflüsse auf das Klima (z.B. CO₂-Diskussion)" folgendermaßen begründet:

"Diese Vorgehensweise ist nur für solche Zeiträume sinnvoll, innerhalb derer Veränderungen der geologischen Barrieren und der Umgebung des Menschen, insbesondere durch die irdische Klimadynamik, noch ausreichend verläßlich prognostiziert werden können" (EHRLICH u.a. 1986: 231).

Nach ALBRECHT u.a. (1989) handelt es sich hierbei um eine willkürlich gesetzte und geologisch, klimatisch und radiologisch nicht nachvollziehbare Grenze. Hat die PTB bei deren

Festlegung jemals daran gedacht, daß die Trefferquote des Deutschen Wetterdienstes Offenbach bei der Vorhersage für die nächsten 24 Stunden "nur" 80-85 % beträgt?

Die neuen Ergebnisse aus dem grönländischen Inlandeis führen das Zeitlimit für die Sicherheitsanalyse aus klimatologischer Sicht vollends ad absurdum. Nach TAYLOR u.a. (1993) stieg dort beim Übergang von der letzten Eiszeit zum Holozän, vor etwa 10.000 ^{14}C -Jahren, die Temperatur in 50 Jahren um 7°C an. Nach ALLEY u.a. (1993) soll der Hauptanstieg sogar nur 3-5 Jahre gedauert haben.

DANSGAARD u.a. (1993) konnten aufgrund von Sauerstoffisotopen-Messungen an einem 3029 m langen Bohrkern aus der Mitte des grönländischen Inlandeises eine Vielzahl radikaler Klimasprünge nachweisen. Die größte Überraschung kam aus dem etwa 2800 m tiefen und 115.000-128.000 Jahre alten Eis der Eem-Warmzeit (s. Tab. 4). Im Klimaoptimum dieser Warmzeit sanken die Temperaturen in Grönland innerhalb von 10-20 Jahren um bis zu 14°C auf das mittlere Niveau einer Eiszeit, um nach wenigen hundert Jahren in ebenso kurzer Zeit wieder auf das warmzeitliche Ausgangsniveau anzusteigen (Abb. 38).

Diese Neuergebnisse zwingen zum klimatologischen Umdenken. Dies gilt auch für die Langzeitprognosen der Endlagerforschung und für die 10.000-Jahrefrist der Sicherheitsanalyse. Die Unbeständigkeit des Klimas und die Rasanz der Umstellungen von Kaltzeit zu Warmzeit und umgekehrt scheinen die Norm zu sein und das relativ stabile Klima der letzten 10.000 Jahre die Ausnahme.

6.1 Eiszeiten oder Treibhauseffekt?

Noch vor 2 Jahrzehnten konnte man diejenigen deutschen Wissenschaftler, die in der Fachöffentlichkeit davor warnten, den astronomisch und quartärgeologisch ableitbaren Langzeittrend

zur nächsten Eiszeit über- und dessen Überlagerung durch den "haus- und autogemachten" Treibhauseffekt der nächsten Jahrzehnte unterzubewerten, an den Fingern einer Hand abzählen (DUPHORN 1976). Inzwischen hat sich der Treibhauseffekt zu einer globalen Herausforderung der Gegenwart und der nächsten Jahrzehnte entwickelt. Die Flut der entsprechenden Fachliteratur ist kaum noch überschaubar.

Seit Beginn der Industrialisierung in der Mitte des vorigen Jahrhunderts hat sich allein der CO₂-Gehalt der Atmosphäre, der mit etwa 50 % am anthropogenen Treibhauseffekt beteiligt ist, um 25 % erhöht. Obwohl viele Fragen zum Ausmaß, zum Umfang, zu den Austauschbilanzen zwischen Atmo- und Ozeanosphäre und zu den regionalklimatischen Auswirkungen des Treibhauseffektes noch nicht beantwortet werden können, lassen die mathematisch-klimatologischen Modelle keinen Zweifel, daß der Treibhauseffekt sich in den nächsten Jahren durchsetzen wird (LAUSCH 1993). Auch aus weltwirtschaftlicher Sicht ist er nicht zu vermeiden; es kommt daher wesentlich darauf an, seine Schadenswirkungen in vertretbaren Grenzen zu halten (MÖLLER 1993).

Beim derzeitigen Stand der Klimaforschung wird allgemein davon ausgegangen, daß der Treibhauseffekt des nächsten Jahrhunderts langfristig von der stärkeren Klimadynamik des Eiszeit-Trends überlagert und abgelöst wird. Daher müssen sowohl bei der hypothetischen Extrapolation der Entwicklungslinien des Klimas in die Zukunft als auch bei der Langzeitprognose für die Endlagerung radioaktiver Abfälle beide Klimaentwicklungen, die natürliche und die anthropogene, gegeneinander abgewogen werden. Die eine tendiert langfristig zur nächsten Eiszeit, die andere kurzfristig zu einer Erwärmung hin. Beide Klimatrends können sich addieren, subtrahieren oder auch kompensieren.

Die Endlagerergremien haben zwar das CO₂-Problem beim Namen genannt (s.o.), aber in ihren US-Berichten dessen Analyse im

Hinblick auf das geplante Endlager im Salzstock Gorleben und dessen Abwägung mit den natürlichen klimatischen Entwicklungslinien versäumt. Auch dieses Versäumnis wird hiermit zumindest ansatzweise nachgeholt.

Die modernen Computer-Modelle des Instituts für Meteorologie und Geophysik der Universität Frankfurt a.M. und des Max-Planck-Instituts für Meteorologie Hamburg prognostizieren mit einer mittleren Temperaturerhöhung von $3,3^{\circ}\text{C}$ bzw. $2,9^{\circ}\text{C}$ und erhöhten Niederschlägen bis zum Jahr 2085 etwa die Klimaverhältnisse der Eem-Warmzeit (FRENZEL 1991), die der letzten Eiszeit voraufragt (s. Tab. 4). Da für die Eem-Warmzeit bisher über dem Salzstock Gorleben noch keine Subrosionsaktivitäten nachgewiesen werden konnten (Kap. 4.2 u. 5.2), sind meines Erachtens auch bei zukünftigen Eem-ähnlichen Klimaverhältnissen für die Endlagersicherheit im Salzstock Gorleben keine Beeinträchtigungen zu erwarten.

Die Variationsbreite der Temperaturerhöhung infolge des Treibhauseffektes liegt zwischen $1,5$ und $4,5^{\circ}\text{C}$. Nach einer Prognose des "Wissenschaftlichen Beirates der Bundesregierung" vom Juni 1993 könnte damit ein Anstieg des mittleren globalen Meeresspiegels um 35-65 cm verbunden sein. Dies entspräche etwa einer Vervierfachung der gegenwärtigen, auch an der deutschen Nordseeküste gemessenen Anstiegsrate von rund 1,5 mm auf 6 mm pro Jahr (JENSEN u.a. 1992, SCHELLNHUBER & STERR 1993).

Bei Zugrundelegung dieser Werte würde die Nordsee den Raum Gorleben in etwa 3000 Jahren erreichen. Bei einer im Jahre 1989 von der "Enquete-Kommission des Bundestages zum Schutz der Erdatmosphäre" prognostizierten Meeresspiegel-Anstiegsrate von 1,5 m/Jahrhundert würde dies sogar nur 1200 Jahre dauern. Doch wie dem auch sei:

Trotz erheblicher klimatischer, hydrologischer und hydrogeologischer Veränderungen bei einer Meeresüberflutung wären für ein Endlager im Salzstock Gorleben keine Beeinträchtigungen der Sicherheit zu erwarten. Im Gegenteil ist zu erwarten, daß Grundwasserdynamik und Subrosion (ähnlich wie unter dem Holstein-Meer) abgeschwächt und verlangsamt ablaufen werden.

Die großklimatischen Veränderungen des quartären Eiszeitalters werden langfristig von den periodischen Schwankungen der drei Erdbahnelemente gesteuert. Die Zyklen betragen ca. 100.000 Jahre (Exzentrizität), 41.000 Jahre (Schiefe der Ekliptik) und 19.000-23.000 Jahre (Präzession). Diese außerirdischen Impulse werden jedoch im irdischen Klimasystem durch eine Vielzahl von positiven und negativen Rückkopplungseffekten modifiziert (FLOHN 1985, BERGER 1988, BERGER u.a. 1990 und TIEDEMANN & SARNTHEIN 1994).

Nach den neuen Strahlungskurven von A. BERGER sind die nächsten Tundraphasen in etwa 5000 und 22.000 Jahren und die nächste Vereisungsphase Norddeutschlands in etwa 60.000 Jahren zu erwarten.

Auf dieser astronomischen Grundlage ergibt sich für die klimatische Langzeitprognose hinsichtlich des Endlagers im Salzstock Gorleben sowohl von den zeitlichen als auch von den geologischen Dimensionen her, daß die Tundraphasen mit Dauerfrostboden, die bereits im Bewertungsraum der nuklearmedizinischen Sicherheitsanalyse (10.000 Jahre) zu erwarten sind, eine erheblich größere sicherheitliche Relevanz besitzen können als die möglichen Wiedervereisungen im geologischen Bewertungszeitraum (1 Million Jahre).

Der Dauerfrostboden der Tundra zeigt den Endlagergremien ein Janusgesicht: Einerseits hemmt er die Grundwasserzirkulation und somit auch die Subrosion, andererseits enthält er Eiskeile

und Frostrisse. Letztere können einen Tiefgang von 400-600 m erreichen (EISSMANN & HÄNSEL 1991, BAUER 1991), die Barriere Deckgebirge durchschneiden sowie die Barriere Salzstock tiefgründig verletzen und damit auch deren Schutzfunktion in Frage stellen.

Zu dieser Frage besteht ein dringlicher Forschungs- und Klärungsbedarf. Wenn sich bei diesen Nachuntersuchungen herausstellt, daß die von BAUER (1991) in mehreren Salzbergwerken bis zu einer Teufe von etwa 600 m beobachteten und als kryogen gedeuteten Kontraktionsrisse typisch für den fossilen Dauerfrostboden und für die hoch aufgestiegenen Salzstöcke Norddeutschlands sind, dann stünde nicht nur der Salzstock Gottleben, sondern das ganze Salzstockkonzept zur Disposition. Um so mehr würden sich dann die tiefliegenden Salzkissen für die geplante Endlagerung anbieten.

Wenn sich der Eisschild über Skandinavien in der nächsten Eiszeit erst einmal aufgebaut hat, kann er sich nach den mathematisch-geophysikalischen Modellrechnungen von DELISLE (1991) innerhalb von nur 8000-12.000 Jahren bis nach Norddeutschland ausdehnen. Dem entspricht eine Fließgeschwindigkeit von 75-90 m/Jahr.

Das Modell steht in guter Übereinstimmung mit den dafür nicht berücksichtigten geologischen Befunden aus dem nordeuropäischen Vereisungsgebiet. So erreichte das Elster-Eis in Sachsen nach EISSMANN & HÄNSEL (1991) Bewegungsgeschwindigkeiten bis 250 m/Jahr, der Jungbaltische Eisvorstoß in Schonen sogar 0,5-1 km/Jahr (RINGBERG 1989).

Nach Literatur- und Modellstudien einer sechsköpfigen Arbeitsgruppe des Reichsgeologischen Dienstes der Niederlande könnten im schlimmsten Falle ("worst-case glaciation scenario") in der nächsten Eiszeit innerhalb von 100.000 Jahren diejenigen Salzstöcke, deren Oberflächen weniger tief als 540 m unter der

Erdoberfläche liegen, und dazu gehört auch der Salzstock Gorbleben, ähnlich wie in der Elster-Eiszeit von der subglaziären Rinnenerosion beeinflusst werden (WILDENBORG u.a. 1990). Dabei würden drei Prozesse zusammenwirken:

- 1) Fluviale Erosion: 50 m.
- 2) Subglaziäre Erosion: 450 m.
- 3) Glazialisostatischer Salzaufstieg: 40 m.

Der zusätzliche glazialisostatische Salzaufstieg ergibt sich aus der sehr ungleichmäßigen Eisbelastung der Erdkruste infolge der zur Gletscherstirn hin sehr rasch abnehmenden Eismächtigkeit. Dabei handelt es sich um eine Ausgleichsbewegung. Im skandinavischen Vereisungszentrum war die Erdkruste unter der Last von ca. 3000 m Weichsel-Eis bis etwa 850 m tief abgesenkt (MÖRNER 1990).

Nach meiner Auffassung überschätzen WILDENBORG u.a. (1990) die Intensität einer möglichen zukünftigen Rinnenbildung unter dem niederländischen und dorddeutschen Inlandeis. Denn erstens müßten die skandinavischen Gletscher wieder bis nach Holland und in das Thüringer Becken vorstoßen. Nur dann wäre evtl. eine Rinnenbildung wie in der Elster-Eiszeit möglich. Und zweitens sind die Deckschichten über dem Salzstock in der Gegenwart etwa 100 m mächtiger als damals. In der Saale- und Weichsel-Eiszeit wurden die Rinnen unter dem Eis nur weniger als 100 m tief eingeschnitten.

Außerdem hätten nicht nur unsere norddeutschen Nachkommen bei einer Eisbedeckung bis nach Jena und Weimar (Kap. 5.3) gewiß andere Sorgen. Dann wären wir die Asylanten! Die Menschen hätten dann, bei heute schon 5,6 Milliarden Individuen, bei einer fast zweiprozentigen Zuwachsrate sowie mit einer Vielzahl von Millionenstädten und Massenvernichtungswaffen nicht den Hauch einer Überlebenschance.

Auch an dieser Stelle kommt man nicht umhin, die Informationsdefizite der Endlagergremien zu beanstanden. Im Kap. 4.10 (geologische und geotechnische Langzeitprognose) der BfS (1990, US-Nr. 0026) findet man unter "Eiszeiten" einen Hinweis darauf, daß sich auch die BGR (1989) mit dem Permafrost und der Rinnengenese unter dem Inlandeis befaßt hat. Im Literaturverzeichnis fehlt jedoch das entsprechende Zitat. Dieses findet man dann zwar bei BGR (1991, US-Nr. 0048) und BfS (1991, US-Nr. 0049). Dafür sucht man dort im Text vergeblich nach den Ergebnissen.

6.2 Salzaufstieg

Wie im Kap. 5.1 ausgeführt, beträgt nach der Randsenkenanalyse die durchschnittliche Salzaufstiegsrate seit Beginn des Miozäns 0,02 mm/Jahr (BGR 1991, US-Nr. 0038) bzw. 0,01-0,02 mm/Jahr (BfS 1990: 251, US-Nr. 0026). Diese sehr langsamen Bewegungen gefährden die Langzeitsicherheit des geplanten Endlagers auch nach meiner Auffassung nicht. Die Prognose der BGR (1990: 347, US-Nr. 0048):

"Für die Zukunft sind keine größeren Hebungsraten zu erwarten",

bedarf jedoch einer weiteren Erläuterung bzw. Richtigstellung.

Selbstverständlich muß bei der Gesamtbewertung noch eine andere natürliche Hebungsrate berücksichtigt werden: Die glazialisostatische (s. Kap. 6.1). Bei einem glazialisostatischen Salzaufstieg von 40 m in 100.000 Jahren (WILDENBORG u.a. 1990) ergibt sich eine zusätzliche Hebungsrate von 0,4 mm/Jahr, welche die o.g. Rate um eine Zehnerpotenz übertrifft.

Meines Erachtens ist aber bei den Sicherheitsbetrachtungen auch diese Komponente vernachlässigbar, weil der maximale glazial-isostatische Salzaufstieg an die oszillierende Eisrandlage gebunden ist. Es ist jedoch sehr unwahrscheinlich, daß der Salzstock Gorleben auch nur bei einer der 5 Vereisungen, die ihn überfahren haben (Kap. 4.2), 100.000 Jahre lang in Eisrandposition gelegen hat.

Eine ganz andere Dimension ergibt sich bei den Spannungen und Salzbewegungen, die infolge der Freisetzung der radioaktiven Zerfallswärme im Endlager entstehen. Nach Modellrechnungen des Batelle-Institutes Frankfurt (PTB-Infoblatt 3/82) sind in den ersten 500 Jahren nach der Einlagerung an der Erdoberfläche über dem Salzstock thermisch induzierte Hebungen von durchschnittlich 2 mm/Jahr zu erwarten. In den ersten 50 Jahren wären es sogar 8 mm/Jahr. Damit wird die natürliche Salzaufstiegsrate von 0,01-0,02 mm/Jahr, mit der allein die Endlager-gremien bei der Gesamtbewertung der Langzeitsicherheit operieren, gleich um 2-3 Größenordnungen übertroffen.

Die o.g. Raten entsprechen einer Hebung von 1 m in 500 Jahren. Neuere Berechnungsmodelle der BGR (1991, US-Nr. 0048) ergeben insgesamt folgende Maximalwerte:

Hebungen im Salzspiegelbereich	ca. 3,30-3,70 m,
Hebungen über dem Endlager	ca. 2,08-2,25 m,
Zugspannung im Salzspiegelbereich (ohne Bruchkriterium)	ca. 1,0-6,0 MPa,
Breite der Zugspannungszonen im Salzspiegel (ohne Bruchkriterium)	ca. 500-700 m,
Breite der plastischen Zone im Salzspiegel (mit Bruchkriterium)	ca. 830 m,
Tiefe der Zugspannungszone unterhalb des Salzspiegels (ohne Bruchkriterium)	ca. 60-250 m,
Tiefe der Rißbildungszone unterhalb des Salzspiegels (mit Bruchkriterium)	ca. 250 m.

Hierzu die BGR (1991: 304, US-Nr. 0048):

"Die thermisch induzierte Volumenexpansion führt in den ersten Jahrzehnten nach Einlagerungsbeginn zu einem starken Anstieg der horizontal gerichteten Druckspannungen im Endlager. Dieser Druckanstieg ist verbunden mit einer erheblichen Entlastung im Salzspiegelbereich, als deren Folge Zugspannungen entstehen, die auf eine Rißgefährdung hinweisen.

In der späteren Kontraktionsphase bei Abkühlung des Endlagers sinkt das Druckspannungsniveau im Endlager wieder, so daß die Zugspannungszone im Salzspiegelbereich allmählich überbrückt wird.

Nach ca. 2000 Jahren stellt sich ein Druckspannungsniveau im Endlager ein, das unterhalb des Teufendrucks liegt. Im Salzspiegelbereich ergeben sich zu diesem Zeitpunkt die größten horizontal gerichteten Druckspannungen. Bis zum Ende der numerischen Untersuchung nach 10.000 Jahren streben die Horizontalspannungen allmählich wieder gegen den Teufendruck".

Fazit: Der Langzeitsicherheitswert der Endlagergremien von 0,01-0,02 mm Salzaufstieg pro Jahr ist unerheblich im Vergleich zu den thermisch induzierten Spannungen und Hebungen, die während des für die Sicherheitsanalyse festgelegten Zeitraumes der nächsten 10.000 Jahre zu erwarten sind. Es ist unverständlich, warum diese Hebungen und die damit verbundenen

Rißbildungen, die bis 250 m unter dem Salzspiegel hinabreichen können, bei der geologischen Langzeitprognose unter den Tisch gefallen sind. Dies ist eine Mißachtung der eigenen sicherheitsanalytischen Planungsvorgabe.

In den nächsten 10.000 Jahren ist außerdem eine neue Tundra-phase mit Dauerfrostboden und Frostrissen nicht auszuschließen (Kap. 6.1). Beide Erscheinungen, thermomechanische und periglaziale Frostrisse, könnten sich dann in ihrer Wirkung addieren. Bereits vorhandene Frostrisse könnten reaktiviert werden.

Es ist zu befürchten, daß das Salzgebirge spätestens bei dieser Prozeßkombination seine geologische Barrierefunktion verliert. Und es ist zu beanstanden, daß es kein thermomechanisches Berechnungsmodell gibt, welches von periglazialen Klimaverhältnissen mit Dauerfrostboden und kryogenen Frostrissen ausgeht, die innerhalb des sicherheitsanalytischen Bewertungszeitraumes zu erwarten sind. Auch dieses Versäumnis stellt eine Mißachtung der eigenen Planungsvorgabe dar.

6.3 Salzablaugung

In den Gesamtbewertungen der BfS (1990: 295, US-Nr. 0026) und der BGR (1991: 347, US-Nr. 0048) werden tertiärer Salzaufstieg (0,01-0,02 mm/Jahr) und quartäre Salzablaugung im Hinblick auf die Langzeitsicherheit des geplanten Endlagers fachlich unzulässig gleichgesetzt. Amtliches Fazit:

"Aufstieg und langfristige Ablaugung gefährden daher die Langzeitsicherheit des geplanten Endlagerbergwerkes im Salzstock Gorleben nicht".

Diese endlagerfreundliche Prognose stützt sich auf 20-65 Millionen Jahre alte Leithorizonte in den Tertiär-Randsenken (Kap. 5.1). Von den amtlichen Zeitlimits der Sicherheitsanalyse

(10.000 Jahre) und des geologischen Bewertungszeitraumes (1 Million Jahre) sind diese Leithorizonte weit entfernt. Die selektive elstereiszeitliche Tiefensubrosion (Kap. 5.3) bleibt ebenso unberücksichtigt wie die zeitliche und räumliche Differenzierung der quartären Subrosionsaktivitäten und wie die Gesamtspanne der quartären Subrosionsraten (Kap. 5.2).

Die Subrosionsrate der BGR von 0,04 mm/Jahr für die Zeit nach der Elster-Vereisung ist ohne wissenschaftlichen Wert (Kap. 5.2.6). Die mittlere Subrosionsrate für die letzte 1 Million Jahre beträgt 0,2-0,4 mm/Jahr. Die holozäne Subrosionsrate beim Zwillingsalzstock Rambow liegt wahrscheinlich im mm-Bereich pro Jahr (Kap. 5.2.3).

6.4 Neotektonik

Nach BECKER (1993) umfaßt die "neotektonische Periode" etwa die letzten 10 Millionen Jahre der Erdgeschichte. Die tektonische Langzeitprognose des BfS (1990: 253, US-Nr. 0026) lautet folgendermaßen:

"In dem Zeitraum vom Mittelmiozän bis heute, also während der letzten 16 Millionen Jahre, fehlen epirogenetisch bedingte Sedimente. Es herrschte Bewegungsstillstand bzw. geringfügige Hebung. Die Bewegungsraten sind also so klein, daß wesentliche Auswirkungen auf den Salzstock Gorleben erst in einigen Millionen Jahren zu erwarten wären".

Dem Schlußsatz ist zuzustimmen, nicht aber dem Voraufgehenden. Denn die pliopleistozänen Loosener Kiese (Kap. 4.2 u. 5.1) sind epirogenetische Flußsedimente eines Tieflandes. Sie kap-
pen in der Prignitz bei 35-45 m über NN diskordant verschieden-
alte Schichten des Tertiärs (W. v. BÜLOW 1991). Diese Überlage-
rungsfälle beweisen, daß die mio- bis pliozäne Hebungsphase im
Übergang des Tertiärs zum Quartär wieder von einer Senkungs-
phase abgelöst worden ist.

Die menap- bis cromerzeitlichen Fluß- und Seesedimente in der fossilen Subrosionssenke über dem Salzstock sind ebenfalls epirogenetische Sedimente eines Tieflandes. Sie beweisen, daß die fluviatil-limnische Sedimentation im Senkungsgebiet des Baltischen Hauptstromes bis zum Beginn der Elster-Eiszeit angehalten hat (Kap. 5.1 u. 5.2).

Somit sind die Annahmen einer geringfügigen epirogenen Hebung im Altquartär (BfS 1990, BGR 1983, s. S. 71) geologisch zweifach widerlegt. Umso mehr gilt dies für die Annahmen einer sehr starken altquartären Hebung, die den Impuls für eine fluviatile Rinnenerosion gegeben haben soll. Bei einer maximalen Rinnentiefe von 434 m unter NN (Reeßelner Rinne) müßte die altquartäre Heraushebung Norddeutschlands mindestens 450 m betragen haben. Andernfalls hätte es kein Gefälle zum Meerespiegel gegeben. Und dann hätte diese starke Hebung noch vor der Elster-Eiszeit durch eine entsprechende Absenkung wieder kompensiert werden müssen.

Diese Spekulation einer altquartären "Fahrstuhl-Tektonik" schwimmt gegen einen Strom von Bohrbefunden, die schon WOLDSTEDT & DUPHORN (1974) zusammengefaßt haben. Sie ist auch im Rahmen der Endlagerforschung Gorleben schon früher widerlegt worden (MEYER 1980, DUPHORN 1986). Auch die neue Variante einer glazialisostatischen Hebung der o.g. Größenordnung (W. v. BÜLOW 1991) kann durch die geologischen Befunde nicht bestätigt werden (Kap. 6.1).

Daß das Holstein-Meer bis in die Gorlebener Rinne und darüber hinaus bis weit nach Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern hinein vordringen konnte (WOLDSTEDT & DUPHORN 1974, MÜLLER, RÜHBERG & KRIENKE 1993), läßt sich mit vorausgegangener glazialisostatischer Absenkung der Erdkruste unter dem im Raum Gorleben bis etwa 1500 m mächtigen Elster-Eis erheblich plausibler erklären als mit einer epirogenetischen Absenkung. Letztere allein reicht hierfür nicht aus.

Die Flachwassersedimente des Holstein-Meeres liegen in ungestörter Lagerung auch im Raum Gorleben nirgends höher als 30 m unter NN. Das Meeresspiegelniveau der Holstein-Warmzeit lag nur wenige Meter über dem der Gegenwart. Daraus ergibt sich für die Zeit von der Holstein-Warmzeit bis heute eine hauptsächlich epirogene Absenkung NW-Deutschlands um mindestens 30 m.

Die tektonische Langzeitprognose der BfS (1990, US-Nr. 0026) spart die bruchtektonischen Vorgänge aus. Da diese mit Erdbeben verbunden sein können, müssen sie selbstverständlich mit in die Sicherheitsbetrachtungen einbezogen werden (Kap. 2.5, 2.6 und 8.1). Eine tektonische Auswertung von Satellitenaufnahmen (KRONBERG 1979, US-Nr. 0028) reicht hierfür nicht aus. Immerhin liefert dieses photogeologische Gutachten einen interessanten Hinweis:

Eine Lineation verläuft von Gorleben längs der Elbe in die Salzablaugungssenke über der Scheitelzone des Salzstockes Rambow. Diesem Hinweis muß beim Projekt Gorleben-Nord (BGR 1990, US-Nr. 0018) durch Bohrungen im Gelände nachgegangen werden (Kap. 8.2).

7. Die vier geologischen Auswahl- und Abwägungskriterien der niedersächsischen Landesregierung von 1977 im Vergleich mit den Bohrbefunden

Die Niedersächsische Landesregierung als nach dem Atomgesetz zuständige Genehmigungsbehörde hat wenigstens vom Ansatz her eine sicherheitsgeologische Eignungshöffigkeitsprüfung vorgeschrieben. Bei der Standortwahl 1977, zwei Jahre vor Bohrbeginn, hat sie vier konkrete geologische Sicherheitskriterien

aufgestellt (JARITZ 1981 und Bundestagsdrucksache 8/3082). Am 16. Mai 1979 hat sie in einer Regierungserklärung gefordert, daß der Salzstock Gorleben nur bei einer positiven Abwägung und Beurteilung der Bohrbefunde bergmännisch untertage weitererkundet werden soll (VIEHL 1980). Mit dieser Forderung wollte sie eine Fehlsteuerung der deutschen Endlagerforschung vermeiden. Im folgenden werden die Bohrbefunde mit den vier geologischen Auswahlkriterien der Niedersächsischen Landesregierung und mit den vor Bohrbeginn gehegten Erwartungen verglichen.

7.1 Das Rohstoff-Kriterium

"Die engere Standortregion sollte keine nutzbaren Lagerstätten einschließlich Grundwasserreserven enthalten".

Bohrbefunde: "Die Gebiete nördlich und südlich des Salzstockes Gorleben mit tiefreichendem Süßwasser enthalten bisher noch weitgehend ungenutzte Grundwasservorräte" (BfS 1990, S. 25, US-Nr. 0026).

Zur Erläuterung: Die Umgebung des Salzstockes Gorleben besitzt mit zwei quartären Grundwasserstockwerken (Fluß- und Schmelzwassersande der Saale- und Weichsel-Eiszeit im Hangenden sowie Schmelzwassersande der Elster-Eiszeit im Liegenden des Lauenburger Tones), vor allem aber mit dem Haupt-Grundwasserleiter der miozänen Braunkohlensande einen hohen wasserwirtschaftlichen Wert. Dies gilt in erster Linie für die beiden Randsenken des Salzstockes. Das Wasserwerk Hühbeck, das 1968

über seinen Nordteil errichtet wurde, kann aus saaleeiszeitlichen Schmelzwassersanden bis zu 445.000 m³/Jahr fördern (BESENECKER u.a. 1983). Das Wasserwerk Hühbeck und die zuletzt genannte Publikation bleiben im BfS-Bericht (1990) unerwähnt.

In der Umgebung des südlichen Nachbarsalzstockes Wustrow wird seit 1976 aus Sandsteinen des Oberrotliegenden Erdgas gefördert, ebenso in der angrenzenden Altmark. Auch in der Erdölaufschlußbohrung Gorleben Z 1 bei Dünsche wurde 1957 bei einer Teufe von 3649 m bis 3658 m im Rotliegend-Sandstein laut Bohrprotokoll der Gewerkschaft Brigitta "eine Stickstoff-Gas-lagerstätte angetroffen". Bei einem Stickstoffgehalt von über 90 % ist jedoch die Abbauwürdigkeit dieses Erdgasvorkommens zu bezweifeln. Nach NE nimmt der Methangehalt im Rotliegendegas noch weiter ab (MÜLLER 1990). Auch das carnallitische Kaliflöz Staßfurt im Salzstock Gorleben liegt mit einem durchschnittlichen K₂O-Gehalt von 6 % unter der Grenze der Abbauwürdigkeit.

Im oberen Teil der miozänen Braunkohlensande in den beiden Randsenken des Salzstockes Gorleben schaltet sich eine über 30 m mächtige Wechselfolge aus Sand und Braunkohle ein. Die größte Flözmächtigkeit beträgt 5 m. Die Vorkommen sind jedoch so weit von der Abbauwürdigkeit entfernt, daß sie in das Kapitel Lagerstätten der BfS-Fortschreibung vom April 1990, US-Nr. 0026 (zu Recht) keinen Eingang gefunden haben.

Fazit: Im tieferen Untergrund einschließlich des Salzstockes Gorleben selbst sind sehr wahrscheinlich keine abbauwürdigen Lagerstätten vorhanden. In Anbetracht des hohen wasserwirtschaftlichen Wertes der miozänen Schmelzwassersande sowie der elster- und saaleeiszeitlichen Braunkohlensande ist das Rohstoff-Kriterium - streng genommen - trotzdem nicht erfüllt. Es ist aber zu bedenken, daß die bloße Anwesenheit von Rohstoffen, die es auch anderswo reichlich gibt, nicht den Bau

eines geowissenschaftlich verantwortbaren Endlagers verhindern sollte. Denn wenn sich bei diesem Kriterium nicht die Prioritätenordnung zugunsten des Endlagers ändert, kann in Norddeutschland mit seinen vielen Grundwasser- und Steine und Erden-Vorkommen an keinen Standort ein Endlager errichtet werden, weil irgendeine Lagerstätte immer in der Nähe sein wird.

Eine andere Frage ist es, ob Rohstoffe im Endlager ein Gefährdungspotential für das Endlager oder vielleicht sogar für den Endlagerbergbau darstellen können. Diese Frage kann beim derzeitigen Kenntnisstand nicht beantwortet werden. Es stimmt aber nachdenklich, daß im Leine-Steinsalz und im Kalisalz der beiden Schachtvorbohrungen mehrfach niedrigsiedende, leicht brennbare Kohlenwasserstoff-Kondensate angetroffen wurden. Bei zwei Testförderungen in der Schachtvorbohrung 5001 traten etwa 3500 Liter Erdgas aus. Dessen chemische und isotopenphysikalische Zusammensetzung zeigt, daß es im Salzstock selbst entstanden ist (GRÜBLER 1984). Weitere Untersuchungen und die Inkohlungsdaten weisen auf den Kupferschiefer der Werra-Folge als Muttergestein hin (BfS 1990, BGR 1991).

Sehr bedenklich ist das jahrelange Schweigen der Endlagergremien über die Erdgas-Eruption in einer Bohrung bei Lenzten im Zwillings-salzstock Rambow (DUPHORN 1984). Dieser Vorgang ist auch nach der Wiedervereinigung noch nicht aufgeklärt worden (BfS 1990: 113, US-Nr. 0026).

7.2 Das Kapazitäts-Kriterium

"Der Salzstock sollte eine für die Aufnahme radioaktiver Abfälle ausreichende Größe besitzen, die außerdem das Vorkommen mächtiger, reiner Steinsalzpartien wahrscheinlich erscheinen läßt".

Bohrbefunde: Der Salzstock Gorleben besitzt ein Gesamtvolumen von $94,7 \text{ km}^3$. Oberhalb einer Teufe von 1000 m verbleiben davon $29,9 \text{ km}^3$ und oberhalb von 800 m $21,3 \text{ km}^3$ (BGR 1990, US-Nr. 0027).

Als Planungsdaten für die Endlagerung sind diese Werte irrelevant. Hierfür kommen nur Basisdaten aus der weiteren Umgebung der 870 m tiefen Endlagerungssohle und evtl. der 900 m tiefen Reservesohle in Betracht, das heißt aus einem vergleichsweise kleinen Bereich im Salzstockkern (BfS 1990, US-Nr. 0026).

Vor Bohrbeginn war nur das sogen. Ältere Steinsalz der Staßfurt-Folge als Endlagerformation vorgesehen (BECKER-PLATEN 1981, VENZLAFF 1978, 1979). Die vor Bohrbeginn gehegte Erwartung,

"daß das 400 m bis 500 m mächtige Staßfurtsalz sehr oft im Kern großer Salzstöcke zu doppelter Mächtigkeit zusammengefloßen ist" (VENZLAFF 1979, S. 172),

hat sich aber beim Salzstock Gorleben nicht erfüllt. Das Ältere Steinsalz ist nämlich rascher aufgestiegen als das Jüngere (JARITZ 1983). Daher ist der Zentralsattel aus dem älteren Staßfurt-Steinsalz (Na 2) im Endlager-Niveau am Schacht Gorleben 1 entgegen den Erwartungen nur etwa 500 m breit. Dieser schmale Sattel wird vom carnallitischen Kaliflöz und vom Hauptanhydrit flankiert (s. Abb. 21 u. 22).

Diese beiden Gesteine müssen beim Endlagerbergbau gemieden werden. Im Carnallit wird bei erhöhten Temperaturen Kristallwasser freigesetzt. Außerdem wird seine Festigkeit innerhalb eines Temperaturintervalles von nur $50-60^\circ \text{C}$ stark reduziert (KERN 1989, US-Nr. 0006). Im etwa 70 m mächtigen und teilweise zerklüfteten Hauptanhydrit flossen allein in einer Tiefbohrung (Go 1005) bei einer Teufe von 1424-1520 m 94 m^3 Magnesiumchlorid-gesättigte Lauge zu. In der Tiefbohrung Go 1002 waren es 23 m^3 (GRÜBLER 1984).

Der vertikale Sicherheitsabstand zwischen Endlager und Salzspiegel (Unterfläche des Gipshutes) beträgt 300 m. Wegen des Laugen-, Kristallwasser- und Bruchfließ-Risikos sowie wegen des bevorzugten Aufreißens von Klüften im geomechanisch sensiblen Übergangsbereich Staßfurt-Folge (Z 2)/Leine-Folge (Z 3), etwa zwischen dem Kaliflöz Staßfurt und dem Hauptanhydrit (FISCHBECK & BORNEMANN 1988), müssen auch zu diesen beiden größten Gefährdungspotentialen im Salzstock selbst Sicherheitsabstände eingehalten werden.

Die dänischen Endlagergremien haben frühzeitig mindestens 150-200 m reines Steinsalz nach allen Seiten in der Umgebung des Endlagers gefordert (HÅKANSSON 1980, Danmarks Geologiske Undersøgelse 1982). Somit bliebe für das Endlager Gorleben im geologischen Querprofil der Abb. 21 u. 22 nur ein 100-200 m breiter Streifen übrig, vielleicht aber örtlich auch gar nichts, weil nämlich "tektonische Anstauungen von Carnallit in Diapiren Ausmaße von Hunderten von Metern in jeder Richtung annehmen" (RICHTER-BERNBURG 1968, S. 1033). Beim Bergbau im Nachbarsalzstock Wustrow war das Kaliflöz Staßfurt in einer bis 200 m mächtigen Staufalte aufgeschlossen (SLOTTA 1980).

Bei der unerwartet schmalen Sattelstruktur des Salzstockes Gorleben und drei Faltensträngen mit Hauptanhydrit und Kaliflöz Staßfurt, die beim Endlagerbergbau gemieden werden müssen, droht das Projekt schon allein aus Kapazitätsgründen zu scheitern. Die wegen der ungünstigen Internstruktur überaus starke Zergliederung der geplanten Einlagerungsbereiche kommt in der Abbildung 39 zum Ausdruck. Ein Blick auf diesen filigranen Einlagerungsplan läßt auch bei einem Nichtgeologen kapazitive Zweifel an der Eignungshöflichkeit des designierten Endlagersalzstockes Gorleben aufkommen. Nach der atomgesetzlichen Öffnung zur direkten Endlagerung wird sich dieses Kapazitätsproblem noch vergrößern (Kap. 8.1).

Bei einer bevorzugten direkten Endlagerung der abgebrannten Brennelemente wird sich das Kapazitätsproblem des Endlagersalzstockes Gorleben noch vergrößern, weil dann wegen der erhöhten Wärmeleistung im Endlager mehr Platz gebraucht wird.

Anstatt aus den nicht erwarteten negativen Bohrbefunden rechtzeitig die Konsequenzen zu ziehen und einen anderen Salzstock mit einem breiteren Na₂-Sattel auszusuchen, wurde das Na₂-Konzept zum Na₂ + Na₃-Mischkonzept umfunktioniert (PTB 1983). Die Festlegung von Sicherheitsabständen ließ noch weitere sieben Jahre auf sich warten; erst dann hieß es:

"Unter bestimmten Voraussetzungen werden die Faßgebinderbohrlöcher vom Hauptanhydrit-/bzw. Carnallititflöz mindestens 75 m, die Kokillenbohrlöcher 100 m entfernt sein" (BfS 1990, S. 222, US-Nr. 0026).

Bei BfS (1991: 11, US-Nr. 0049) ist nach wie vor nur vom "Staßfurt-Hauptsalz (= 2 HS) als späterem Endlagermedium" die Rede. Für die Einlagerung der verschiedenen Abfallarten sind jedoch getrennte Einlagerungsfelder vorgesehen. Hochradioaktive wärmeentwickelnde Abfälle sollen im Staßfurt-Steinsalz und schwach- bis mittelradioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung im Leine-Steinsalz endgelagert werden (BfS 1990, US-Nr. 0026).

Die Mengenberechnung radioaktiver Abfälle von HOLLMANN & BRENECKE (1993) reicht nur bis zum Jahr 2000 (Kap. 1.2). Es fehlen die Planungsdaten für das insgesamt erforderliche Einlagerungsvolumen. Somit kann die behauptete Eignungshöflichkeit auch vom planerischen Ansatz her in Frage gestellt werden.

7.3 Das Subrosions-Kriterium

"Die Salzstockoberfläche sollte nicht mehr als 400 m unter Gelände liegen und nicht zu hoch in die oberflächennahen Grundwasserhorizonte reichen".

Dieses Kriterium besteht aus zwei Teilen. Mit Teil 2 sollte ein Salzstock mit zu starker Subrosion ausgeschlossen werden. Teil 1 hingegen "ist einem Geologen nicht sofort verständlich. Da etwas tiefer gelegene Salzstöcke häufig eine Tonsteinüberdeckung haben, hätte man es in solchen Fällen mit durchaus interessanten Mehrbarrieren-Systemen zu tun" (JARITZ 1981, S. 16). Und daran mangelt es, wie die folgenden Bohrbefunde zeigen, ausgerechnet beim Salzstock Gorleben.

Bei der Bewertung der geologischen Langzeitsicherheit eines Endlagers im Salz muß auch die Subrosion berücksichtigt werden. Die Endlagergremien haben es sich dabei zu einfach gemacht und die Subrosionsrate der Zukunft mit der Salzaufstiegsrate etwa seit Beginn des Tertiärs gleichgesetzt. Letztere beträgt etwa 0,01-0,02 mm/Jahr. Auf diesem weiten Umwege gelangen sie zu einer sehr endlagerfreundlichen Sicherheitsaussage (BfS 1990, S. 295, US-Nr. 0026).

Methodische Zweifel und Bedenken

1) Zwischen dem Salzaufstieg im Tertiär (2-66 Mio. Jahre) und dem zeitlich und örtlich differenzierten Subrosionsgeschehen im Quartär sind keine unmittelbaren Zusammenhänge zu erkennen. Außerdem sind die halotektonischen Vorgänge des Tertiärs zeitlich weit von der amtlichen Planungsvorgabe des sicherheitsgeologischen Bewertungszeitraumes (1 Mio. Jahre) entfernt.

2) Die subrosiven Aktivitäten der letzten 1 Mio. Jahre wurden weniger vom Salzaufstieg, sondern vor allem von der diapirischen Durchragung des Salzstockes bis zur Erdoberfläche vor

1 Mio. Jahren sowie von der Begegnung des Salzstockes mit dem Elster-Eis und dessen Schmelzwässern vor ca. 400.000-500.000 Jahren ausgelöst (Kap. 5.2 u. 6.3).

3) "Offensichtlich haben sich im Laufe der Zeit verschiedene Bereiche des Salzstockes unterschiedlich entwickelt" (KUSTER & MEYER 1979: 140). So war die altquartäre Subrosion (mittlere Subrosionsrate 0,4-0,5 mm/Jahr, salinarer Massenverlust etwa 3 km^3) im Südteil des Salzstockes bereits in der Holstein-Warmzeit ausgeklungen. Die saaleeiszeitliche Subrosion (mittlere Subrosionsrate 1,5 mm/Jahr, salinarer Massenverlust etwa 1 km^3) ist nur im mittleren Teil des Salzstockes Gorleben und die holozäne Subrosion nur im Nordteil des Salzstockes Rambow (Subrosionsrate im mm-Bereich pro Jahr) mit geologischen Methoden nachweisbar (Kap. 5.2 u. 6.3). Das quartäre Subrosionsgeschehen ist offensichtlich komplizierter, als es sich in einem langfristigen Mittelwert zusammenfassen läßt.

4) Die mittlere Subrosionsrate der Endlagergrerien für die Zeitspanne von der Elster-Eiszeit bis zur Gegenwart (0.04 mm/Jahr) beruht auf der Neubildung von Gips und Anhydrit am Salzspiegel nach der Einspülung elstereiszeitlicher Schmelzwassersande in dem unteren Teil des Gipshutes von der Gorlebener Rinne her. Dabei wurden jedoch diejenigen Sulfatanteile, die als quartärer Sekundäranhydrit im sandigen Gipshut selbst auskristallisierten, ebenso vergessen wie die Sulfatfazies, die im Grundwasser bis fast an die Erdoberfläche aufsteigt. Beide Anteile müssen quantitativ ermittelt und addiert werden. Erst dann erhält diese Subrosionsrate einen wissenschaftlichen Wert (Kap. 5.2.6 u. 6.3).

5) Die Sicherheitsaussagen von BfS (1990) und BGR (1991) zur Subrosion stützen sich nicht auf die Gesamtspanne der im Rahmen der übertägigen Standorterkundung erarbeiteten Subrosionsraten, sondern nur auf die "endlagerfreundlichen" Minimalwerte.

Z

Im folgenden werden einige geologische und hydrogeologische Basisdaten aus der Gesamtspanne der quartären Subrosion in geochronologischer Reihenfolge angeführt. Dabei halte ich mich streng an den von den Endlagergremien vorgegebenen sicherheitsgeologischen Bewertungszeitraum. Die detaillierte Darstellung des Subrosionsgeschehen nach der Holstein-Warmzeit wird im Rahmen des Gesamtgutachtens von Dr. APPEL übernommen.

1) Zu Beginn der altquartären Bavel-Warmzeit, vor ca. 1 Mio. Jahren, ragte ein größerer Teil des Salzstockes Gorleben, etwa so wie in der Gegenwart die Salzstöcke Lüneburg und Bad Segeberg, bis zur Erdoberfläche empor. Diese Aufragung kann durch die direkte Überlagerung des Gipshutes mit bavelzeitlichen Seesanden in der Bohrung GoHy 940 geologisch und palynologisch belegt (DUPHORN 1986, MÜLLER 1986) und paläomagnetisch datiert werden (SHACKLETON u.a. 1990, TIEDEMANN & SARNTHEIN 1994).

2) Die altquartären See- und Flußablagerungen liegen über dem Salzstock Gorleben bis mindestens 300 m tiefer als in der weiteren Umgebung desselben. Daraus ergibt sich die geologische Deutung, daß die Gipshutoberfläche während der letzten 1 Mio. Jahre durch Subrosion bis mindestens 300 m tiefergelegt wurde. Die Gesamtabenkung in mindestens vier Phasen verstärkter Subrosion während der letzten 1 Mio. Jahre entspricht einer mittleren Subrosionsrate von 0,2-0,4 mm/Jahr und einem salinaren Massenverlust von 2-4 km³.

3) Diese mittlere Subrosionsrate des geologischen Bewertungszeitraumes (0,02-0,04 mm/Jahr) ist für die Langzeitprognose maßgeblich. Die tiefen Eingriffe der elstereiszeitlichen Schmelzwässer in den Salzstock entlang des sehr leicht löslichen Kaliflözes Staßfurt, die der allgemeinen Subrosionsfront bis 170 m unter dem Salzspiegel vorausseilten, stellen aber für die Langzeitsicherheit des Endlagers im Salzstock ein erheblich größeres Gefährdungspotential dar als die mittleren Subrosionsraten verschiedener Größenordnung (s. Kap. 5.3 und 7.4).

4) Beim Salzstock Gorleben reichen die hydrogeologischen Nachwirkungen der elstereiszeitlichen Tiefenerosion in abgeschwächter Form bis in die Gegenwart: An der NW-Flanke der Gorlebener Rinne steigen NaCl-Wässer mit teilweise hohem Sulfatanteil vom Salzstock bis in das erdoberflächennahe Grundwasser auf. Die chloridische Versalzung kann auf die Auflösung von Steinsalz zurückgeführt werden, die sulfatische auf die Auflösung von Gips und Anhydrit (BROSE & BRÜHL 1986).

"Man muß vermuten, daß die Grundwasserbewegung stellenweise bis zur Salzstockoberfläche hinunterreicht (BGR 1991, S. 144, US-Nr. 0048).

5) Messungen der elektrischen Leitfähigkeit und hydrochemische Analysen zeigen, daß das erdoberflächennahe Süßwasser im gesamten Salzstockgebiet von mehr oder weniger stark versalztem Tiefengrundwasser unterlagert wird. Am salzigsten ist das Grundwasser im unteren Teil der Gorlebener Rinne. Dementsprechend nehmen die Fließgeschwindigkeiten des Grundwassers mit der Tiefe ab.

Im Tiefengrundwasser ist "die Tendenz zur Abnahme der Fließgeschwindigkeiten mit der Tiefe jedoch nur eingeschränkt vorhanden" (BGR 1990, S. 341). Das Süßwasser/Salzwasser-Strömungsmodell stimmt nur im oberen Grundwasserstockwerk (über dem Lauenburger Ton) mit den gemessenen Fließgeschwindigkeiten überein: Mittelwert der Filtergeschwindigkeit 164 m/Jahr, Maximalwert 847 m/Jahr.

Am widersprüchlichsten sind die zwei Maximalwerte 47 m/Jahr in der Grundwassermeßstelle 752 bei einer Tiefe von 161 m in sehr gut durchlässigen Feinkiesen und Sanden des Altquartärs und 30 m/Jahr in der Grundwassermeßstelle 504 bei einer Meßtiefe von 270 m in sehr gut durchlässigen Sanden und Kiesen der Elster-Eiszeit, nur ca. 10 m über dem Gipshut (DUPHORN 1988). Die Filtergeschwindigkeit von 30 m/Jahr entspricht einer realen Partikelgeschwindigkeit von 100-120 m/Jahr bzw. von

ca. 30 cm/Tag. Erst weitere Messungen, die zu einer statistischen Mindestzahl von Werten führen, können diesen Widerspruch zum Süßwasser/Salzwasser-Strömungsmodell klären.

6) In 5 Salzspiegelbohrungen gab es im Gipshut totale Spülverluste bis zu $15 \text{ m}^3/\text{Stunde}$ (BfS 1991, Anl. 9). Diese Spülverluste deuten darauf hin, daß auch im kavernösen und teilweise zerklüfteten Gipshut mit größeren Fließgeschwindigkeiten zu rechnen ist. In einer Bohrung (GoHy 1304) traten sogar im Salzgebirge selbst, 7,5 m unter dem Salzspiegel, Spülverluste von $2,5 \text{ m}^3$ in 6 Stunden auf.

7) Nach den Grundwasserströmungs-Modellen der BGR (1983) betragen die derzeitige Subrosionsrate $0,3\text{-}1,2 \text{ mm/Jahr}$ und die Fließzeiten zwischen der Gipshut- und der Erdoberfläche nur etwa 600 bis 3700 Jahre. Dies entspricht einem Substanzverlust des Salzstockes von etwa $3000\text{-}12.000 \text{ m}^3/\text{Jahr}$. Es sei "nicht zu erwarten, daß sich die Fließzeiten durch eventuelle Korrekturen am Modell wesentlich, d.h. um Größenordnungen, ändern" (BGR 1985, S. 90). Eine Neuberechnung der BGR (1987) aufgrund der Pumpversuche ergab dann aber Fließzeiten von 4000-17.000 Jahren, Salzverluste von $500\text{-}2000 \text{ m}^3/\text{Jahr}$ und eine derzeitige Subrosionsrate von $0,05\text{-}0,2 \text{ mm/Jahr}$ (Kap. 5.2 und 6.3).

Die von mir aufgrund der Bohrbefunde berechnete mittlere Subrosionsrate von $0,2\text{-}0,4 \text{ mm/Jahr}$ für die letzte Million Jahre liegt größenordnungsmäßig in der Mitte zwischen den alten und neuen Subrosionsraten der BGR. Letztere ($0,05\text{-}0,2 \text{ mm/Jahr}$) stimmt aber nicht mit der oben zitierten Sicherheitsaussage der BfS (1990, S. 295) überein, daß "die heutige durchschnittliche Subrosionsrate eher niedriger ist als der für die Post-Elster-Subrosion ermittelte Wert von ca. $0,04 \text{ mm/a}$ ".

8) Über dem Salzstock Gorleben ist die derzeitige Subrosion nur durch die o.g. Grundwasserströmungs-Modelle nachweisbar und quantifizierbar. Über der Scheitelzone des Zwillings-salzstockes Rambow auf der anderen Seite der Elbe hingegen liegt eine morphologisch markante, landschaftsökologisch und naturwissenschaftlich faszinierende und wertvolle Salzablaugungs-Senke mit dem Rudower und dem Rambower See. Dort ist mit einer derzeitigen Subrosionsrate im mm-Bereich pro Jahr zu rechnen (Kap. 5.2.3). Dieses Gebiet muß erst noch untersucht werden (Kap. 8.2).

7.4 Kriterium der geologischen Jungfräulichkeit

"Der Salzstock sollte durch frühere Bohrungen oder bergmännische Aktivitäten möglichst unberührt sein, um unkontrollierte Eingriffe in das System Salzstock zu vermeiden".

Der Salzstock Gorleben war durch Bergbau gar nicht und durch frühere Bohrungen nur sehr wenig verritzt. Somit ist dieses Kriterium formell erfüllt, aber nicht in der Sache; denn das mit ihm angestrebte Schutzziel, die Vermeidung von unkontrollierten wasserwegsamem Eingriffen in den Salzstock, wird durch bis mindestens 92 m unter dem Salzspiegel in den Salzstock eingespülte Schmelzwassersande der Elster-Eiszeit in Frage gestellt (Kap. 5.3). Bei einer Teufe von 350 m wurde darin in der Bohrung GoHy 1303 eine Porosität von etwa 35 % ermittelt. Nach Auffassung der BGR sind dort Wasserwegsamkeiten vorhanden.

Der Einfluß von Lösungen, die das Kaliflöz umgewandelt haben, reicht bis mindestens 170 m unter den großflächigen Salzspiegel bzw. bis 445 m unter Gelände. Nach meiner Auffassung handelt es sich dabei um fossile Erscheinungen der Elster-Eiszeit. BORNEMANN & FISCHBECK (1986: 71) schreiben jedoch in der Gegenwartsform von "Lösungen, die das Kalilager umwandeln", und deuten damit ein Fortleben dieser selektiven Tiefensubrosion an.

Z

Diese Bohrbefunde der BGR von 1984 beziehen sich auf ein einziges Querprofil mit 6 gezielt angesetzten Bohrungen quer zum Streichen des Kaliflözes (s. Abb. 32). Das besonders subrosionsanfällige carnallitische Kaliflöz Staßfurt tritt jedoch im zentralen Salzstockgebiet in drei Strängen auf (Abb. 21 u. 22) und wird dort auf einer Gesamtlänge von etwa 25 km vom Salzspiegel gekappt. Davon ist der allergrößte Teil subrosionsgeologisch "Terra incognita".

Bei diesen Relationen kann man bzw. muß man schon aus statistischen Gründen davon ausgehen, daß das elstereiszeitliche Schmelzwasser nicht gleich im ersten Bohrprofil, das gezielt auf die selektive Ablaugung des Kaliflözes angesetzt wurde, am tiefsten in den Salzstock eingedrungen ist, sondern daß die Barriere Salzstock an anderen Stellen noch tiefer erodiert, abgelaut und verletzt wurde. Diese Annahme wird durch die weitreichende und Gipshut-abhebende Seitenerosion des elstereiszeitlichen Schmelzwassers vom Grunde der Gorlebener Rinne her bekräftigt (Kap. 5.3).

Das Gorleben-Forschungsmanagement ist da aber offensichtlich anderer Meinung. Nur so ist es zu verstehen, daß es in seinen Gesamtbewertungen beim mit den glaziologischen Details weniger vertrauten Leser den Eindruck erweckt, daß alles seine geologische Ordnung habe und ein systematisches Bohrprogramm zur Untersuchung der Gesamtverbreitung, der Mächtigkeit, des Tiefganges und der Wasserwegsamkeiten der eingespülten Schmelzwassersande im gesamten tiefensubrosionsgefährdeten Salzstockgebiet entlang des 25 km langen Kaliflözes bereits durchgeführt worden sei. Hierzu unisono BfS (1990: 294, US-Nr. 0026) und BGR (1991: 347, US-Nr. 0048):

"Ein spezielles Bohrprogramm hat die untere Grenze der Einwirkung von Grundwasser auf die besonders leicht löslichen Salze des Kaliflözes Staßfurt ca. 140 m bis 170 m unterhalb des Salzspiegels ermittelt. Hieraus ergeben sich keine Hinweise auf eine mögliche Gefährdung der Sicherheit des geplanten Endlagers, da 170 m unterhalb des Salzspiegels das sehr leicht lösliche Carnallitgestein offensichtlich seit seiner Bildung vor etwa 250 Mio. Jahren nicht wieder mit größeren Anteilen an wäßrigen Lösungen in Kontakt gekommen ist und ein genügend großer Sicherheitsabstand zwischen Grubengebäude und wasserführendem Deckgebirge eingehalten werden kann".

Fazit

Die Bohrbefunde von Gorleben zeigen, daß sowohl im Deckgebirge als auch im Salzstock selbst mehrere sicherheitsrelevante Erwartungen, die vor Bohrbeginn gehegt worden waren, sich nicht erfüllt haben. Auch die vier geologischen Auswahlkriterien der Niedersächsischen Landesregierung (JARITZ 1981 und Bundestagsdrucksache 8/3082) sind in der Sache nicht erfüllt.

Bei letzteren handelt es sich zugleich um Abwägungskriterien, die eine Fehlsteuerung der deutschen Endlagerforschung vermeiden sollten. Deshalb hat die Niedersächsische Landesregierung in ihrer Regierungserklärung vom 16. Mai gefordert, daß der Salzstock Gorleben nur bei einer positiven Abwägung und Beurteilung der Bohrbefunde bergmännisch untertage weitererkundet werden soll (VIEHL 1980).

Aufgrund dieser Forderung und der vielen negativen, vor Bohrbeginn nicht erwarteten Bohrbefunde hätte die Standorterkundung spätestens 1984, als der "Sandstock Gorleben" angebohrt wurde, abgebrochen werden müssen. Zumindest eine Denkpause

wäre angebracht gewesen; dann hätten die Endlagergremien vielleicht selbst eingesehen, daß ohne systematische Bohruntersuchung der elstereiszeitlichen Sandeinspülung in den oberen Teil des Salzstockes die Sicherheitsanalyse geowissenschaftlich nur Stückwerk bleibt und das Endlager Gorleben nicht genehmigungsfähig sein wird.

Die frühere SPD/FDP-Bundesregierung war und die derzeitige CDU/CSU/FDP-Bundesregierung ist da anderer Meinung: Am 13. Juli 1983, d.h. 18 Monate vor Bohrabschluß, hat sie sich mit der Begründung,

"daß die bisherigen Ergebnisse der Standorterkundung nicht im Widerspruch zu den Erwartungen stehen" (Umwelt 97/1983: 32),

ohne Widerspruch über die o.g. Forderung der früheren niedersächsischen Landesregierung und ihre 4 geologischen Auswahl- bzw. Abwägungs-/Eignungshöflichkeitsskriterien hinweggesetzt. Die Landesregierung und ihre Sicherheitskriterien waren der Bundesregierung dabei nicht einmal eine Erwähnung wert. Die Kritik von Bundeskanzler i.R. H. SCHMIDT "über die Nachlässigkeit, mit der Wissenschaftler, Unternehmen und auch Regierungen bislang mit dem Problem des atomaren Mülls umgegangen sind" (s. S. 3), richtet sich somit auch gegen ihn und seine Regierung selbst.

Auf diese sowohl fachlich als auch politisch widersprüchliche Weise wurden die Weichen für das Schachtabteufen und die untertägige Weitererkundung des Salzstockes Gorleben und gegen eine mehrgleisige und alternative Standortvorsorge gestellt. In dieser konzeptionellen Einbahnstraße wirtschaften die Endlagergremien seither mehr mit Fiktionen als mit Fakten. Dies gilt auch für die von ihnen seither beschworene, aber geologisch nicht nachvollziehbare "Eignungshöflichkeit" (s. Kap. 1.3).

Übrigens hat auch die PTB (1983: 65) aufgrund der Bohrbefunde festgestellt,

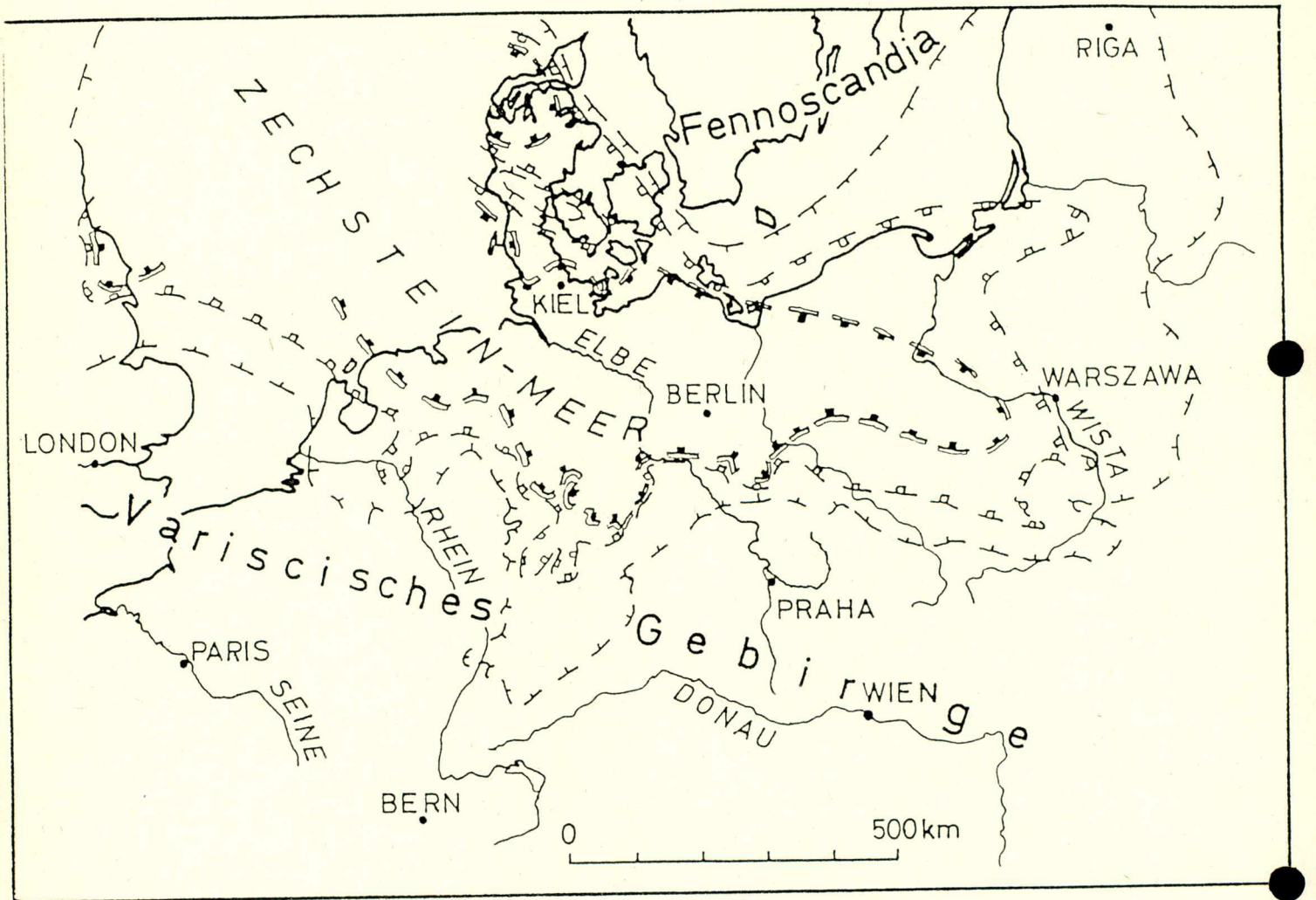
"daß die über den zentralen Bereichen des Salzstockes Gorleben vorkommenden tonigen Sedimenten keine solche Mächtigkeit und durchgehende Verbreitung haben, daß sie in der Lage wären, potentiell kontaminierte Grundwässer auf Dauer von der Biosphäre zurückzuhalten".

Damit räumte auch die PTB ein, daß aufgrund der Bohr- und Meßergebnisse aus dem vorgesehenen geologischen Mehrbarrierensystem überwiegend ein Einbarrierensystem geworden war, dessen Schutzfunktion der Salzstock weitestgehend allein übernehmen müßte. Für mich, der ich im Auftrage der PTB 3 Jahre lang das Deckgebirge intensiv untersucht hatte, war diese Erkenntnis ein wesentlicher Grund dafür, der PTB gutachtlich die "Erkundung anderer Lagerstätten" zu empfehlen (DUPHORN 1983: 240, US-Nr. 0052).

Auch die PTB war im Frühjahr 1983 dazu bereit, aus dieser Erkenntnis die Konsequenz zu ziehen und der Bundesregierung zu empfehlen, parallel zum Schachtabteufen in Gorleben übertägig andere Standorte alternativ zu prüfen. Der Entwurf dieser Empfehlung, der von der PTB bei einer Anhörung vor dem Ausschuß für Umweltfragen des Niedersächsischen Landtages in Hannover am 1. Juli 1985 bestätigt wurde (RÖTHEMEYER 1985), endet mit folgenden Sätzen:

"Viele Aussagen und Ergebnisse des Berichtes sind wegen der noch nicht erfolgten Bestätigung durch die untertägige Erkundung mit Unsicherheiten behaftet. Das darin liegende Risiko hinsichtlich der Art und Menge endlagerbarer radioaktiver Abfälle kann durch vorsorgliche Erkundungsmaßnahmen an anderen Standorten (Standortvorsorge) verringert werden. Mit dem Schachtabteufen parallel laufende übertägige Erkundungsmaßnahmen anderer Standorte vermeiden somit Sachzwänge bei der Realisierung dieses Endlagers. Dies würde auch die Akzeptanz des Standortes Gorleben erhöhen".

Abb. 15: Verbreitung des Zechstein-Meeres und der darin sedimentierten Salzgesteine.



Paläogeographische Skizze für das Spät-Perm = Zechstein

LEGENDE:

~ Küste x Steinsalz

~ Kalisalze

Abb. 16: Bohrkarte des Salzstockes Gorleben. Nach BfS (1991, US-Nr. 0049).

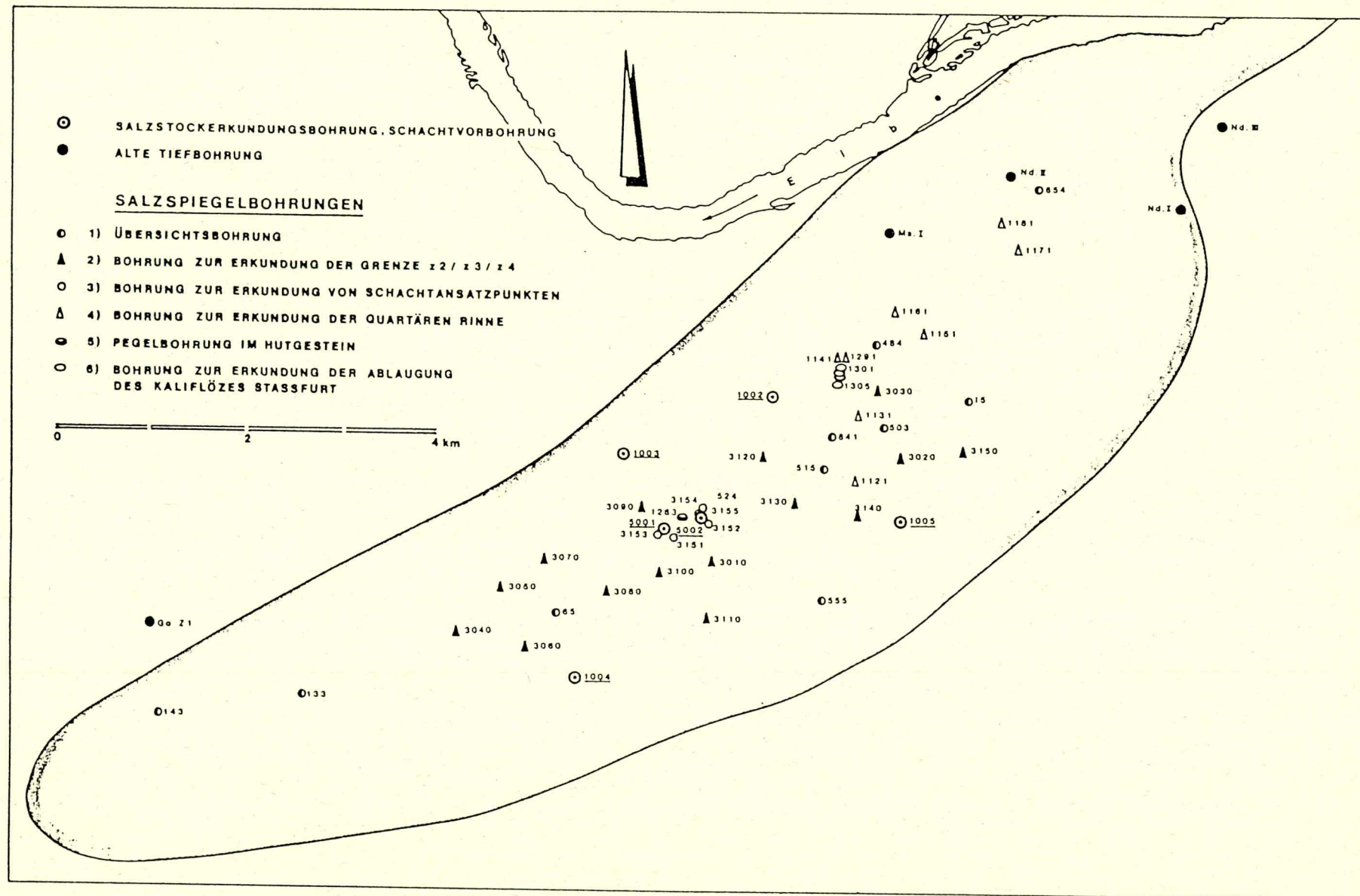


Abb. 17: Standardprofil der Zechsteinschichten mit bankrechten Mächtigkeiten. Nach BfS (1991, US-Nr. 0049).

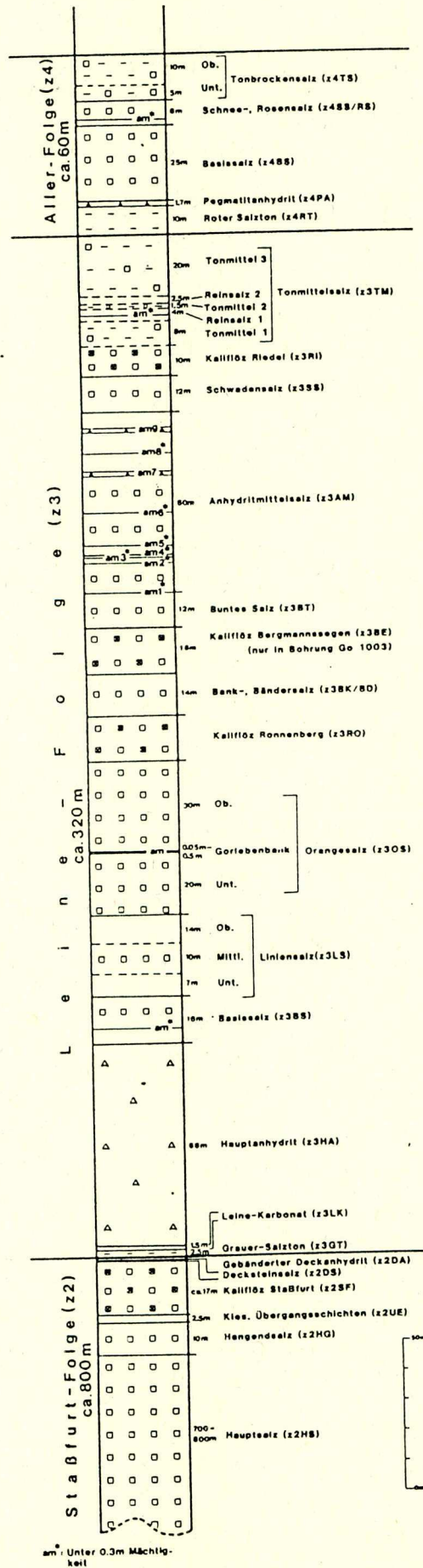


Abb. 18: Salzstruktur-Typen in Norddeutschland. Nach BfS (1992).

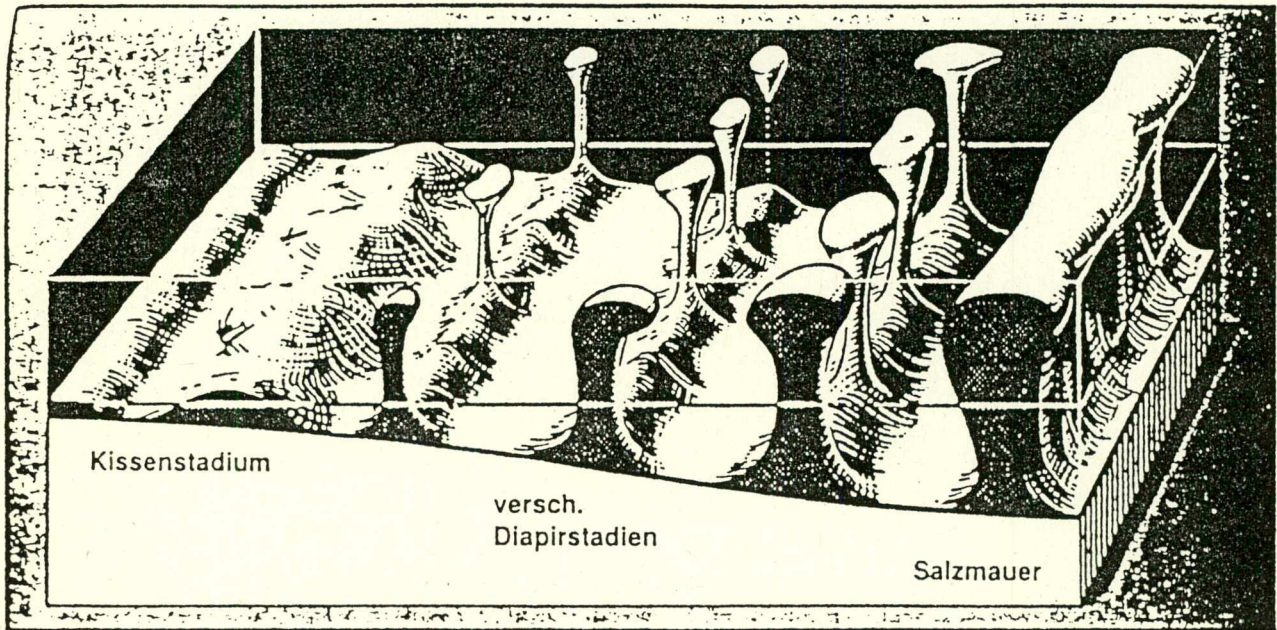


Abb. 19: Statistik des Diapirismus in Nordwestdeutschland.
Dargestellt ist die Häufigkeit der Diapirentstehung (p) in
Abhängigkeit von der Zeit (t). Nach JARITZ (1973).

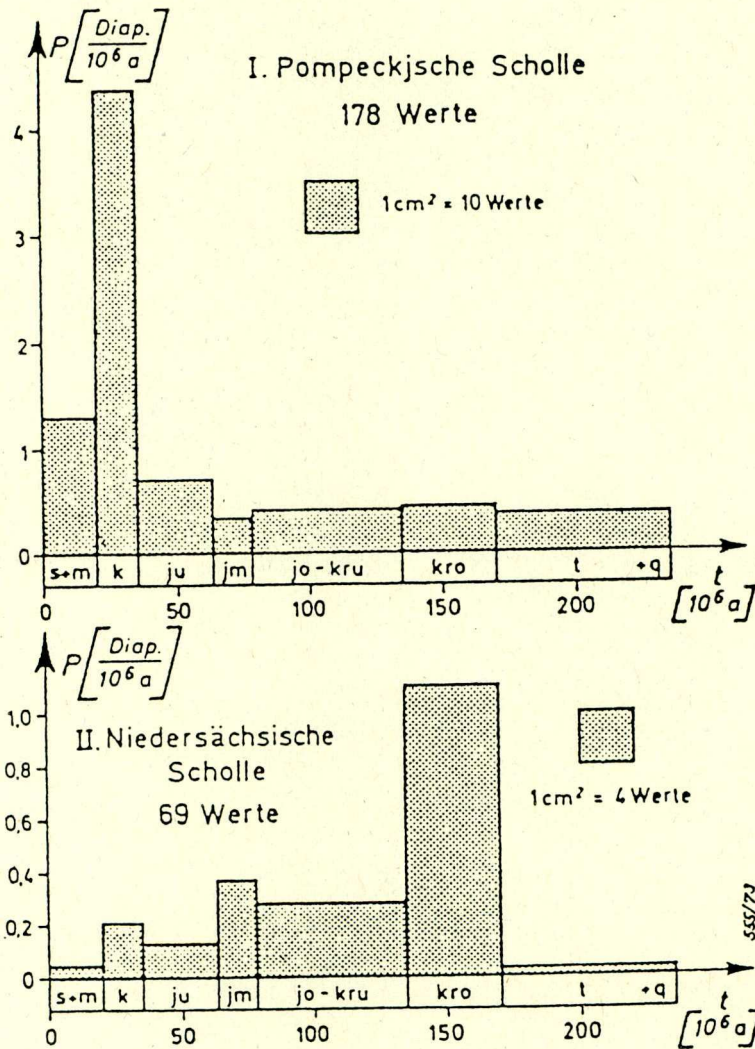
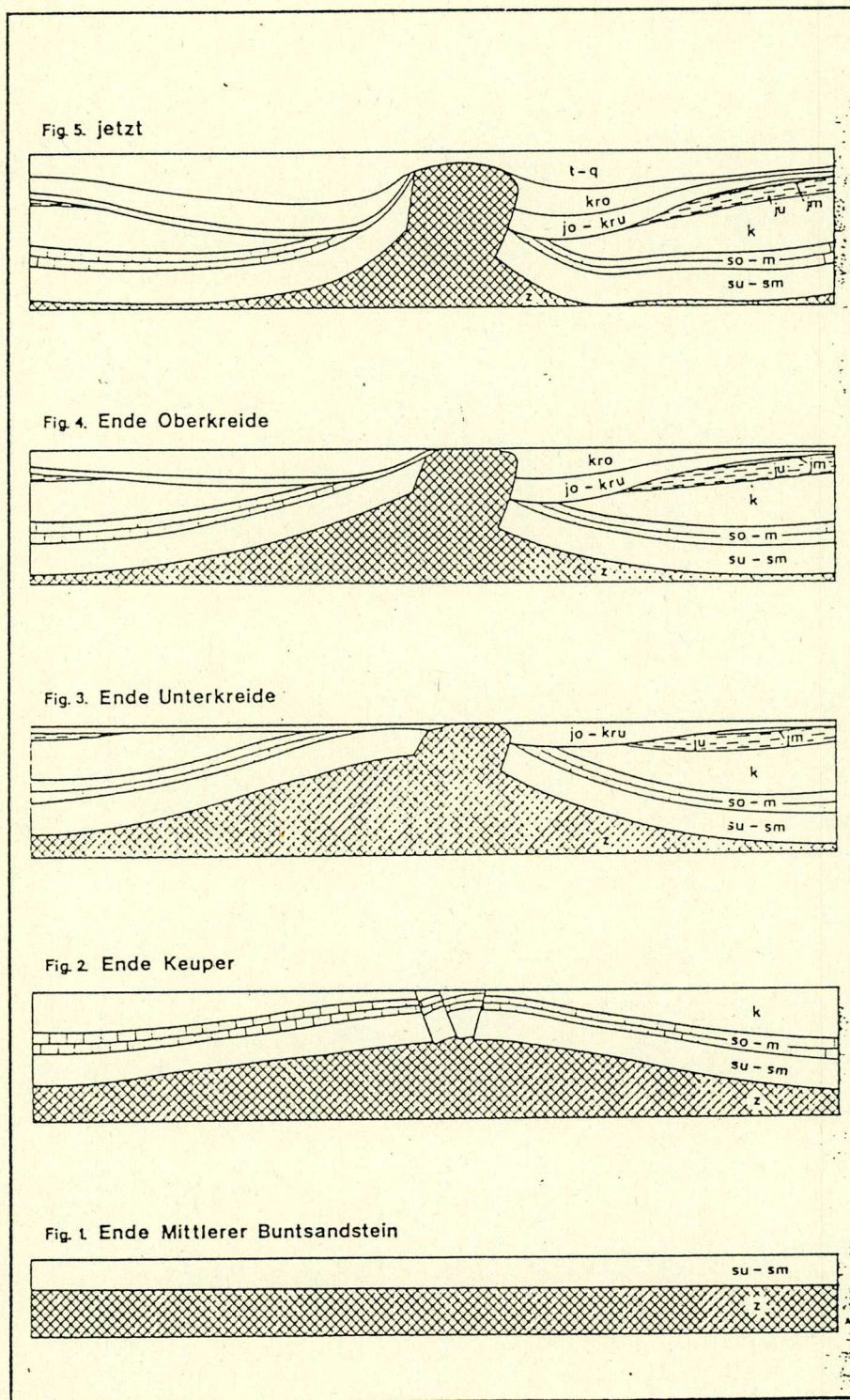


Abb. 20: Entwicklungsschema des Salzstockes Gorleben. Nach BFS (1992).



Legende:

q	Quartär	jm	Dogger	sm	Mittlerer Buntsandstein
t	Tertiär	ju	Lias	su	Unterer Buntsandstein
kro	Oberkreide	k	Keuper	z	Zechstein
kru	Unterkreide	m	Muschelkalk		
jo	Malm	so	Oberer Buntsandstein		

Abb. 22: Geologisches Querprofil durch den Salzstock Gorleben sowie durch seine Deck- und Nebengebirge mit der altquartären Diapir-Oberfläche bei mindestens 40 m über NN. Die Pfeile im Salzstock deuten die verschiedenen Hauptbewegungsrichtungen an. Nach BGR und DUPHORN (1986).

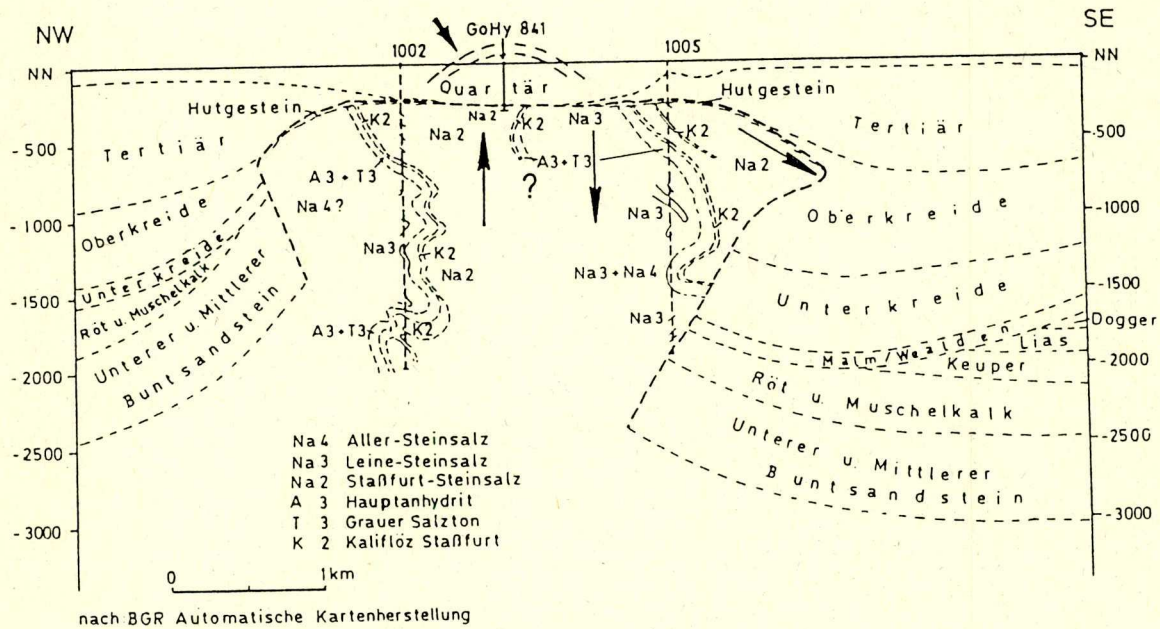


Abb. 23: Schematische Darstellung der Schichtfolgen im Gipshut.
Nach BFS (1991, US-Nr. 0049).

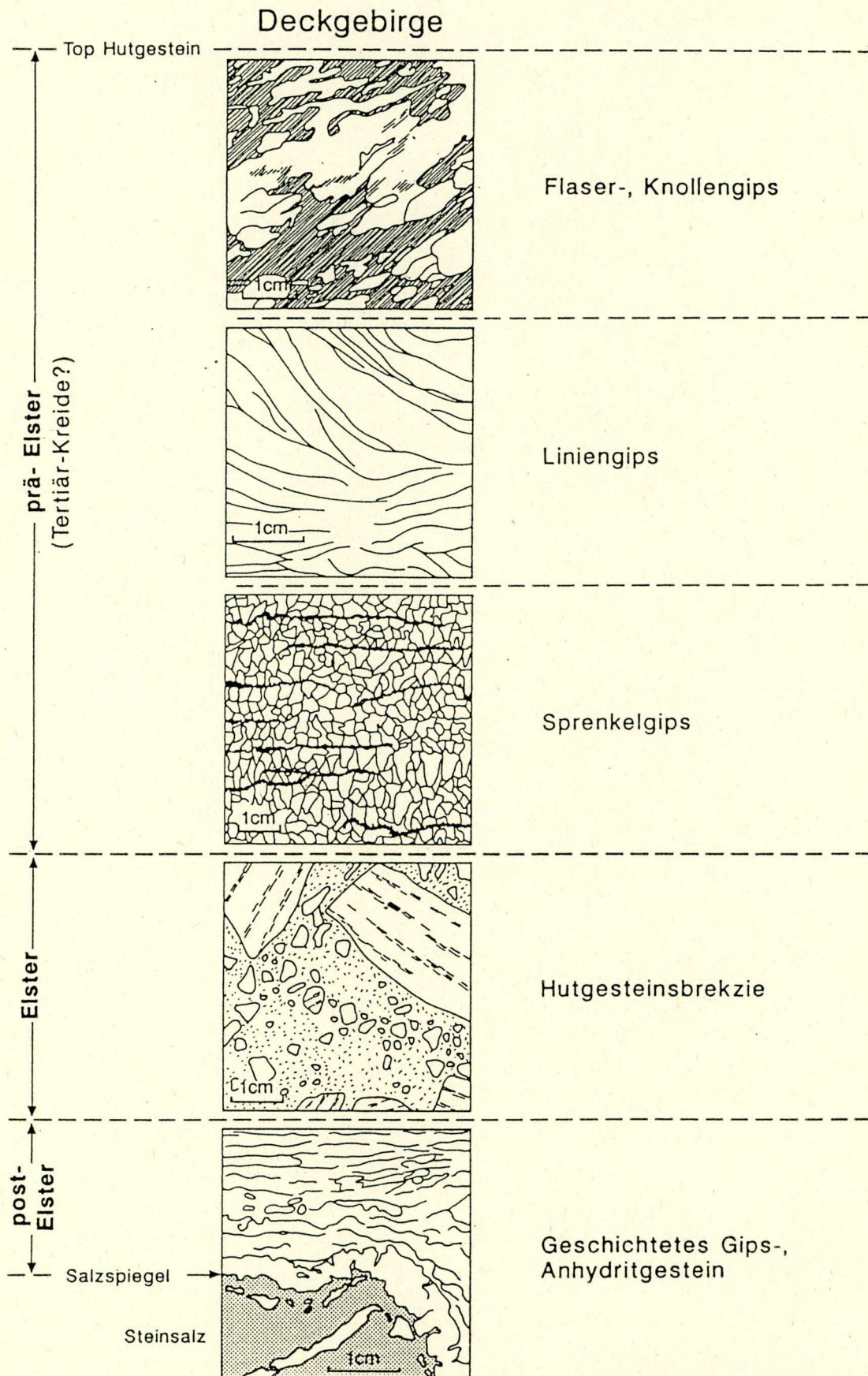


Abb. 24: 6 cm breiter Bohrkern mit elstereiszeitlicher Hutgesteinsbrekzie aus der 1913 auf dem Hühbeck niedergebrachten Kalibohrung Nordenhall 2. Helle Gips- und Anhydritbruchstücke "schwimmen" im dunklen Schmelzwassersandstein. Darin nordschie Kiese. In der oberen linken Bohrkernhälfte sandiges Schlie-
rengefüge mit Einfallen nach rechts. Letzteres deutet die Strömungsrichtung an. Nach DUPHORN (1988).

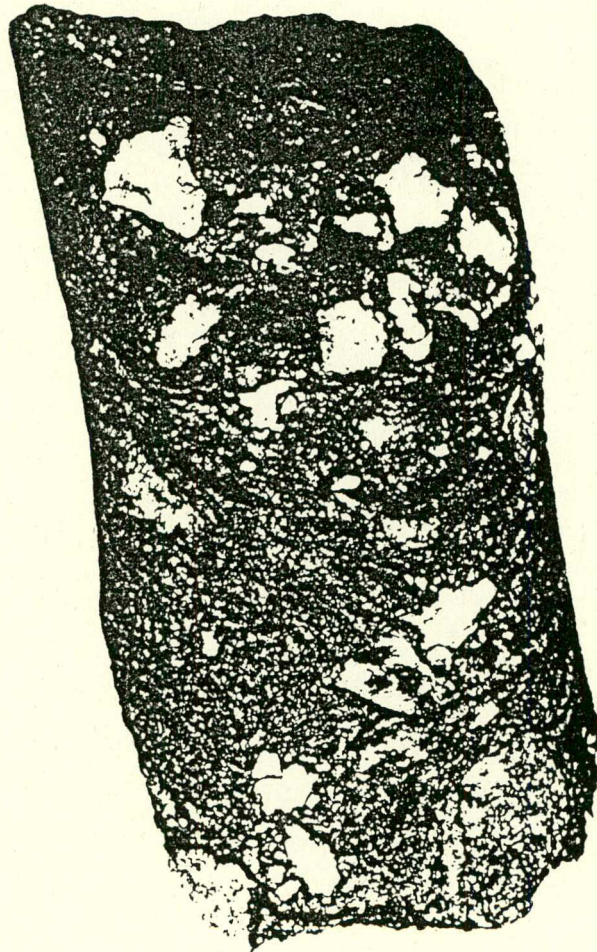


Abb. 25: Geologisches Handbohrprofil durch den spätglazialen bis holozänen Erdfall über dem Nachbarsalzstock Gr. Heide-Siemen im Siemener Moor. Nach LAMMERS (1986).

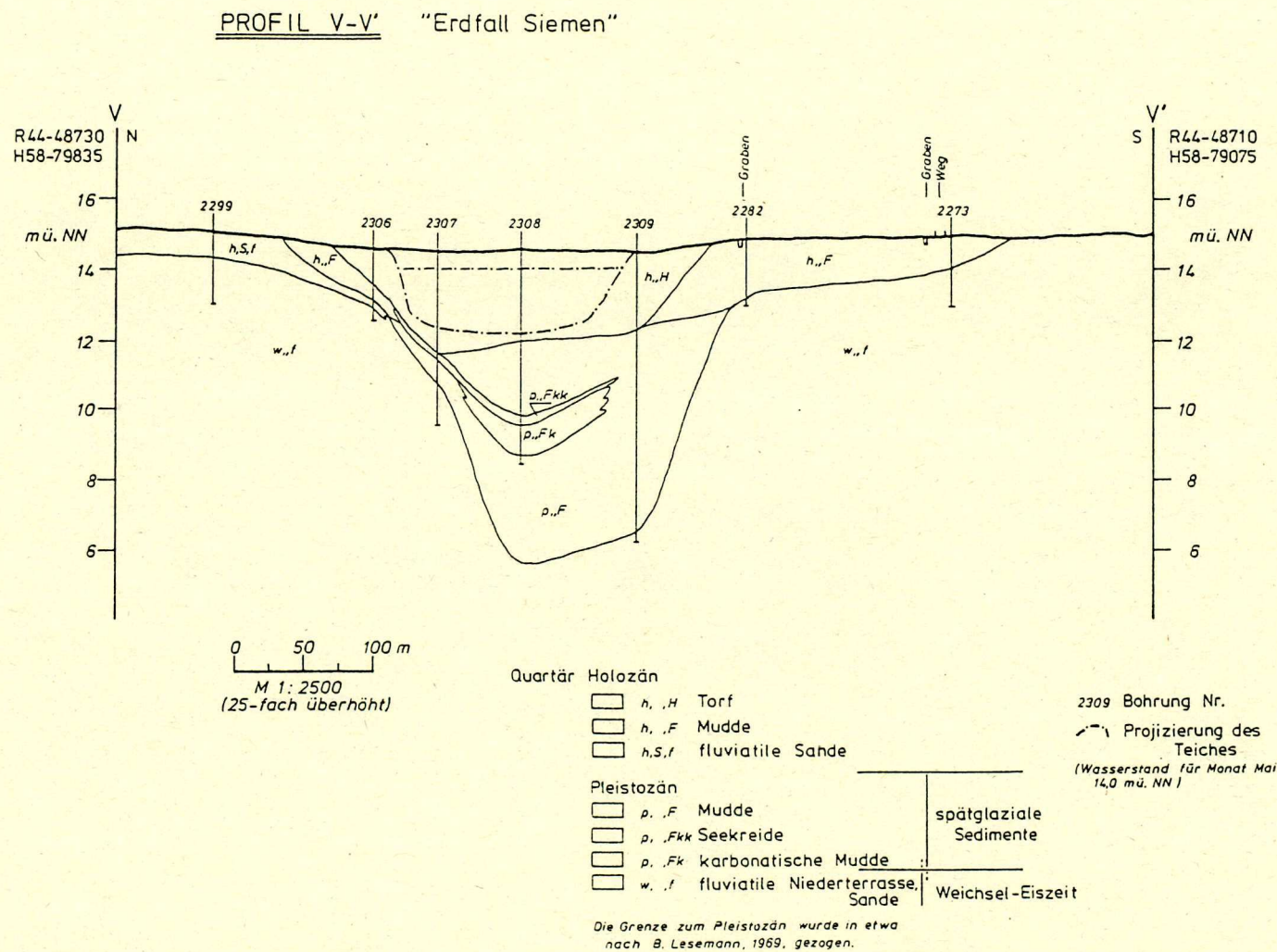


Abb. 26: Quartärgeologisches Profil durch das Weiße Moor und das angrenzende Dünenfeld. Nach U. SCHNEIDER (1981).

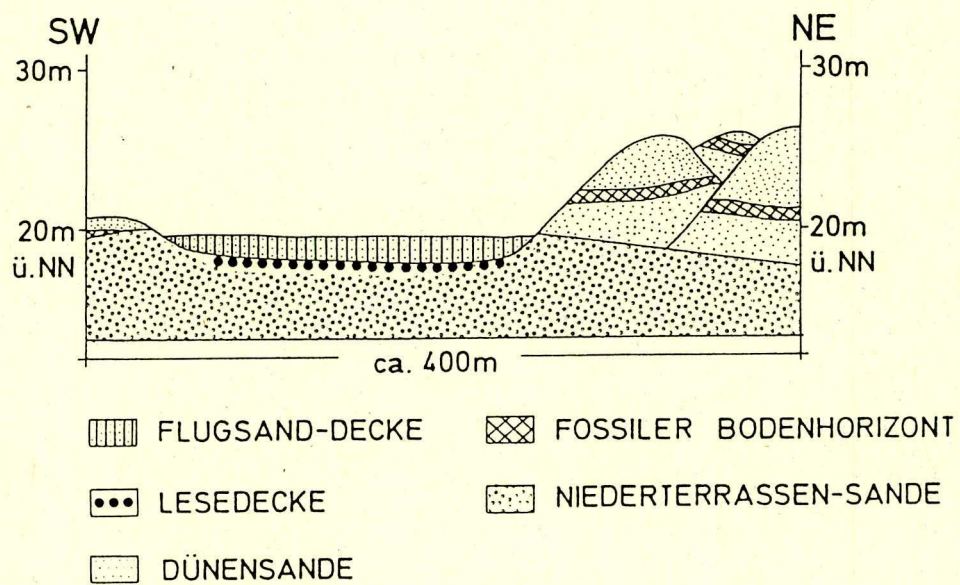


Abb. 27: Quartärgeologisches S-N-Profil durch die quartären Deckschichten mit der saaleeiszeitlichen Subrosionssenke über dem Salzstock Gorleben. Nach DUPHORN (1984).

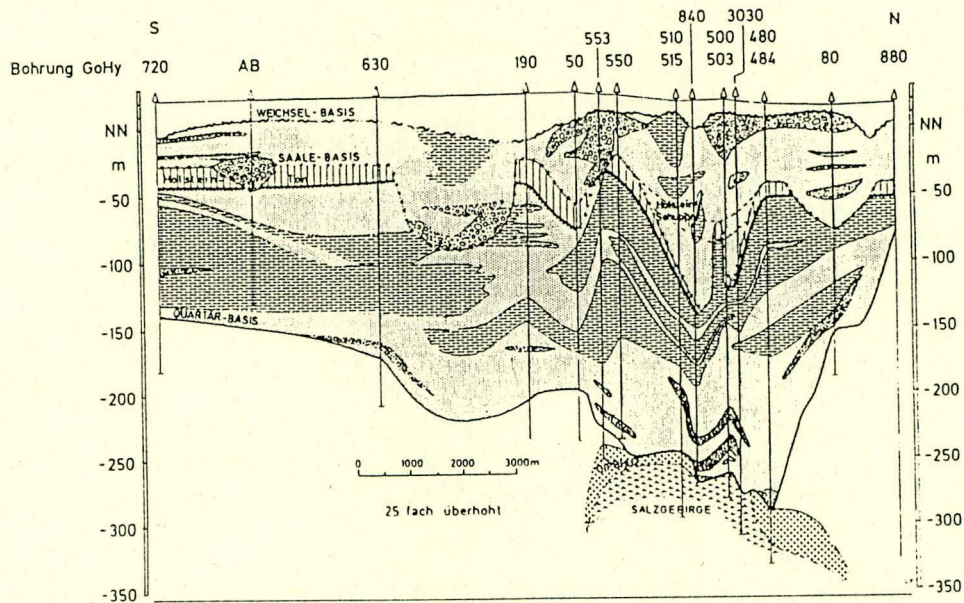


Abb. 5: Quartärgeologisches Profil J-K, nach DUPHORN (1984 c). Zur Lage s. Abb. 1.

LEGENDE ZU DEN GEOLOGISCHEN PROFILEN

	Niederterrassensande und -kiese	WEICHSEL-EISZEIT
	Beckenschluffe -tone	
	Geschiebemergel	SAALE -EISZEIT
	Schmelzwassersande und -kiese	
	See- und Meerestone	HOLSTEIN-WARMZEIT
	Beckenschluffe,-tone (Lauenburger Ton)	
	Geschiebemergel	ELSTER -EISZEIT
	Schmelzwassersande und -kiese	
	Schluffe, Sande, Mudde, Torf, Feinkies	Menap - Cromer
	Braunkohlen-Tone-und Sande	MIOZÄN
	Schluffe und Tone -marin-	CHATTIUM
	Tone -marin-	RUPELIUM
	Tone -marin-	EOZÄN
	Versturzsedimente (Tertiär, Oberkreide)	
	Gipsstut	
	Salzgebirge	Tertiär-Scholle

Abb. 28: Topographische Karte der holozänen Subrosionssenke über dem Salzstock Rambow und des flankierenden halokinetischen Hebungsranzes (oben) sowie topographisches und reflexionsseismisches Querprofil (unten). A und T_1 sind schallharte Leithorizonte des Alttertiärs. Nach REINHARDT (1967).

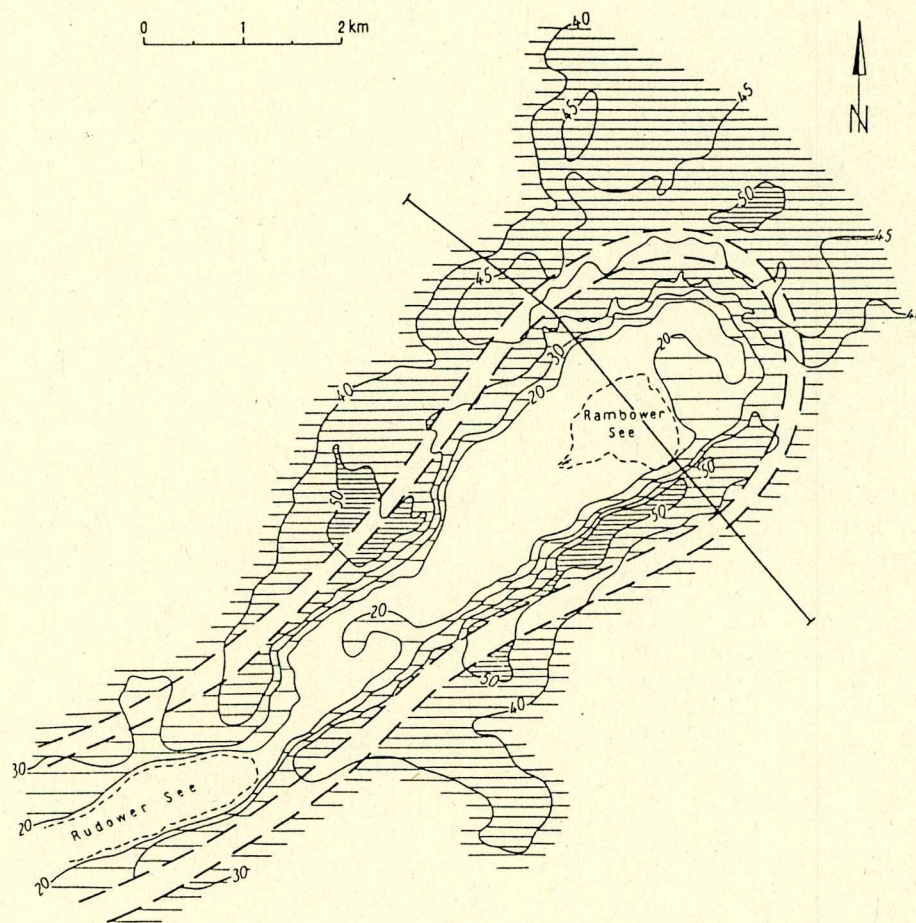


Abb. 29: Mächtigkeit der Langsamschicht (m) über dem Nordteil des Salzstockes Rambow. Nach HURTIG (1965).

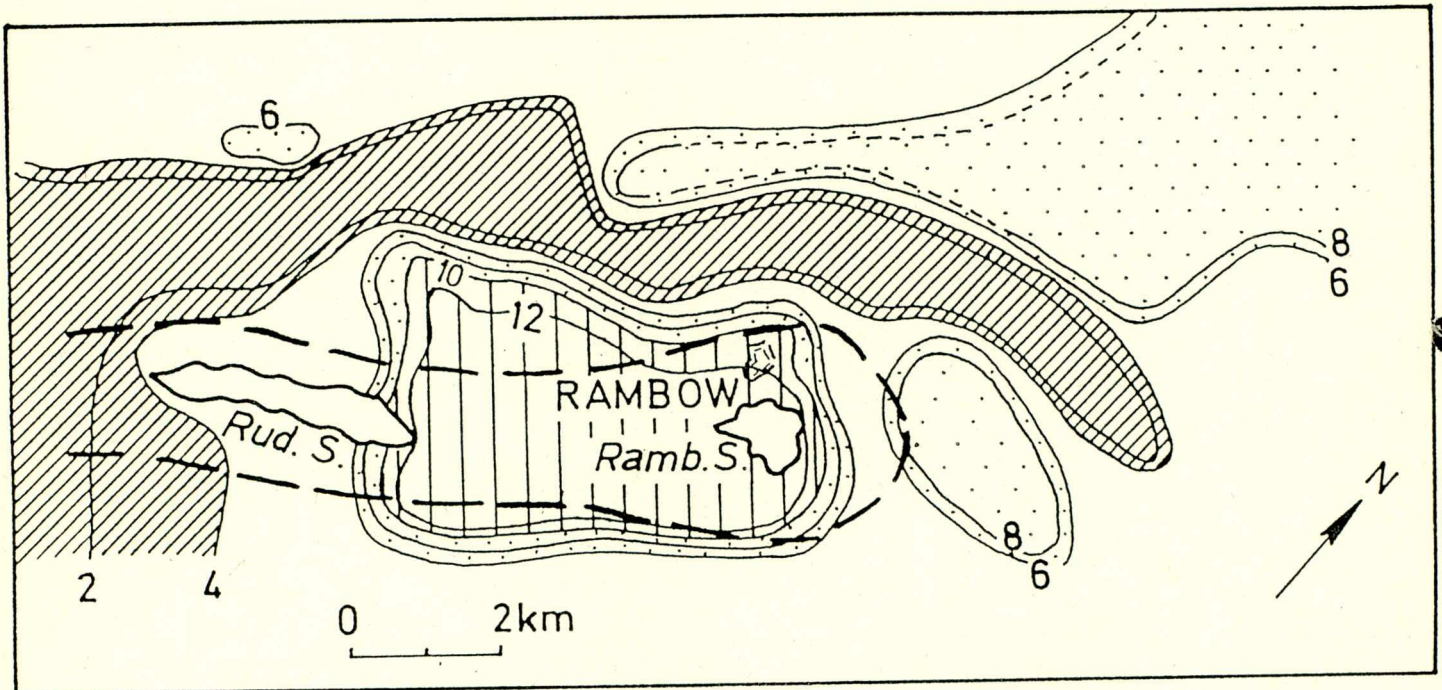
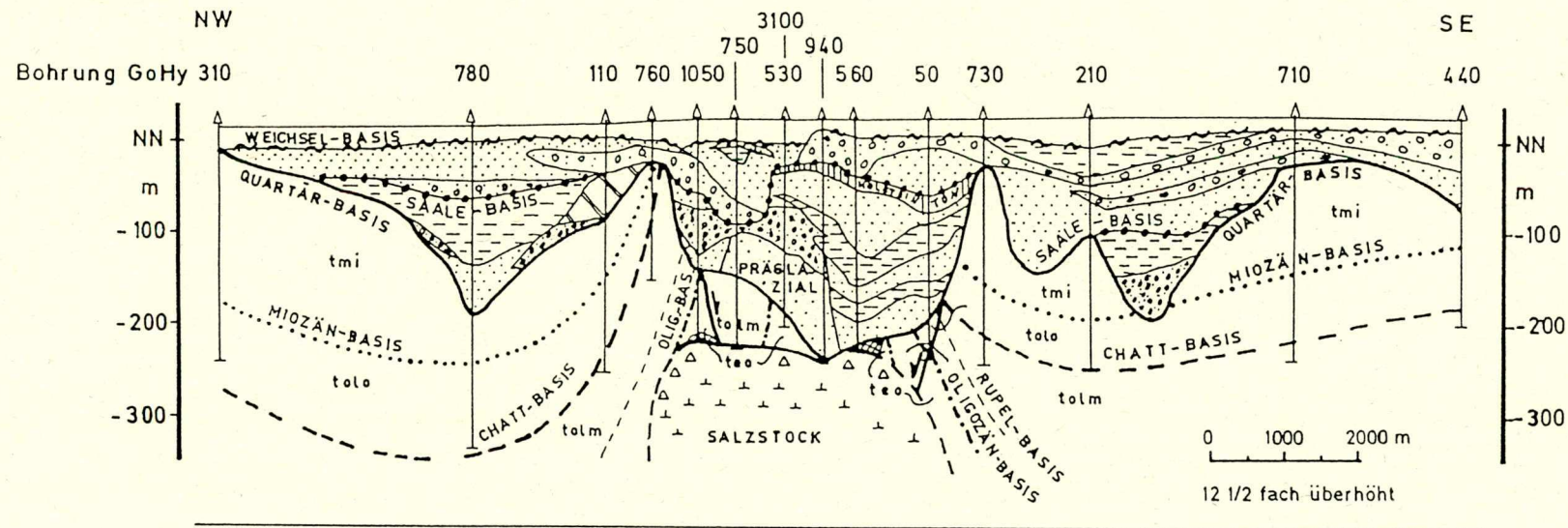


Abb. 30: Geologisches Profil R-S (s. Abb. 3) durch die tertiären und quar-
tären Schichten im Deckgebirge und in den Randsenken des Salzstockes Gor-
leben. Nach DUPHORN (1986).



LEGENDE ZU DEN GEOLOGISCHEN PROFILEN

	Niederterrassensande und -kiese	WEICHEL-EISZEIT
	Beckenschluffe, -tone	
	Geschiebemergel	SAALE -EISZEIT
	Schmelzwassersande und -kiese	
	See- und Meerestone	HOLSTEIN-WARMZEIT
	Beckenschluffe, -tone (Lauenburger Ton)	
	Geschiebemergel	ELSTER -EISZEIT
	Schmelzwassersande und -kiese	
	Schluffe, Sande, Mudde, Torf, Feinkies	Jüngeres Altquartär

Abb. 31: Paläogeographisches Modell der Begegnung des Salzstockes Gorleben mit der Elster-Vereisung in der Gorlebener Rinne. Die subglaziären Schmelzwässer haben die altquartäre Subrosions-senke (mit limnisch-fluviatilen Sedimenten des Menap- und Cromer-Komplexes) weitgehend ausgeräumt und vertieft. Unter hohem hydrostatischen Überdruck haben sie ihre Sandfracht seitlich in den Gipshut und nach unten in leicht lösliche Schichten des Salzgebirges eingespült. Nach einer neuen Abschätzung (s. Kap. 5.3) betrug die Eismächtigkeit etwa 1500 m. Nach DUPHORN & RICHTER (1987).

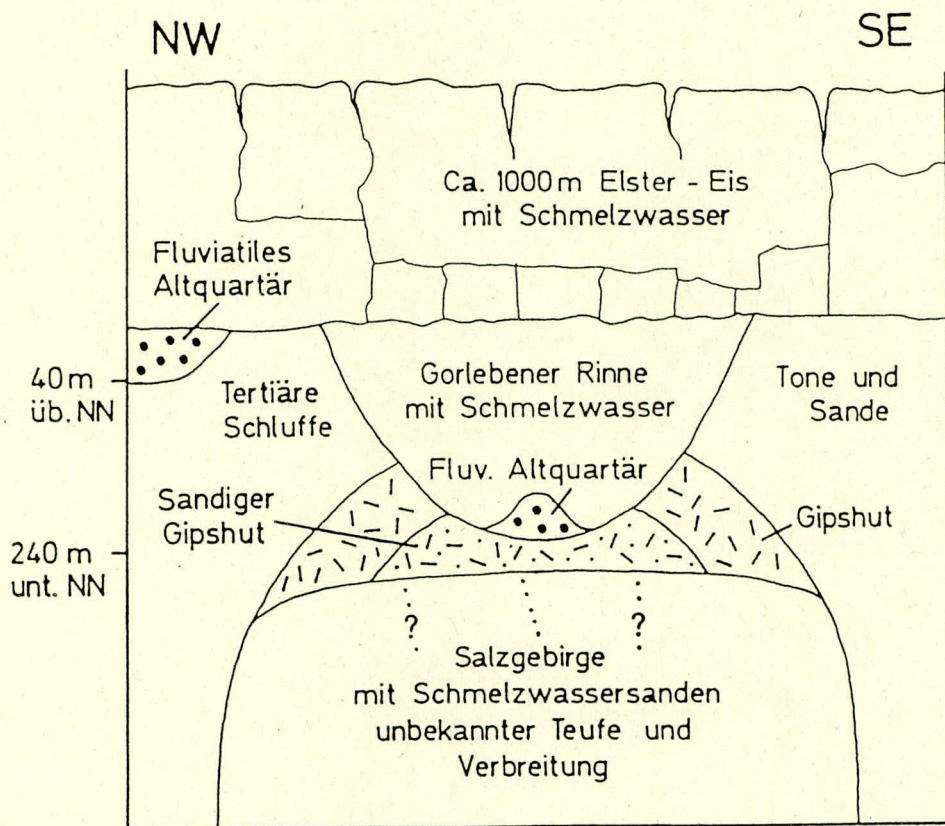


Abb. 32: Geologisches Profil der BGR (1985) durch den oberen Teil des Salzstockes Gorleben und sein Deckgebirge. In der Bohrung GoHy 1303 ist das carnallitische Kaliflöz Staßfurt bis zu einer Teufe von 92 m unter dem Salzspiegel aufgelöst und durch elstereiszeitliche Schmelzwassersande ersetzt worden. Das Staßfurt-Steinsalz im Hangenden des abgelaugten Kaliflözes ist durch Nachbruch zerklüftet. In den Abbildungen der US-Berichte des BfS und der BGR fehlt die Klüftung.

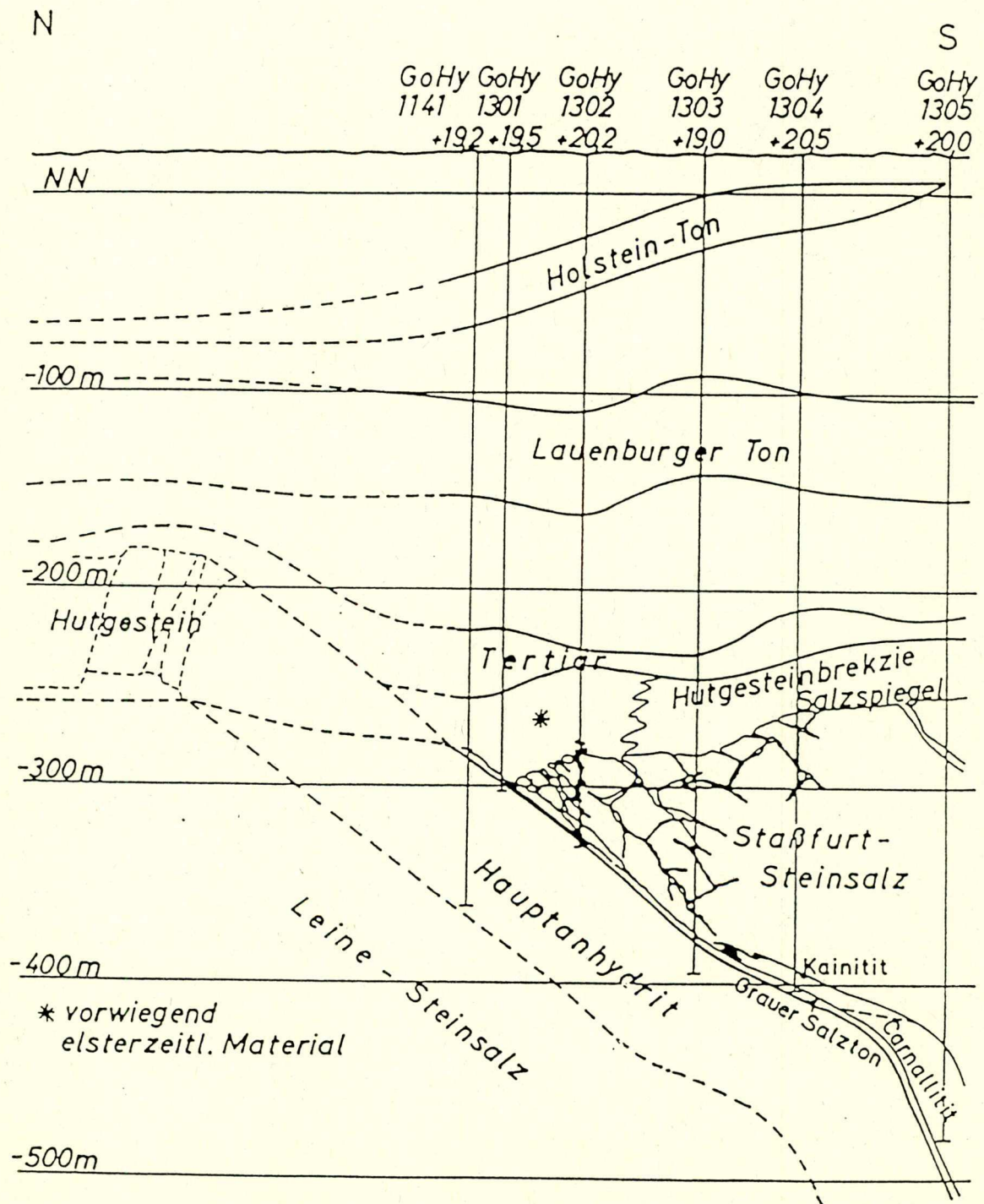


Abb. 33: Vereinfachte geologische Karte der Hühbeck-Stauchmo-
räne und der umgebenden Elbe-Aue. Nach DUPHORN & SCHNEIDER
(1983).

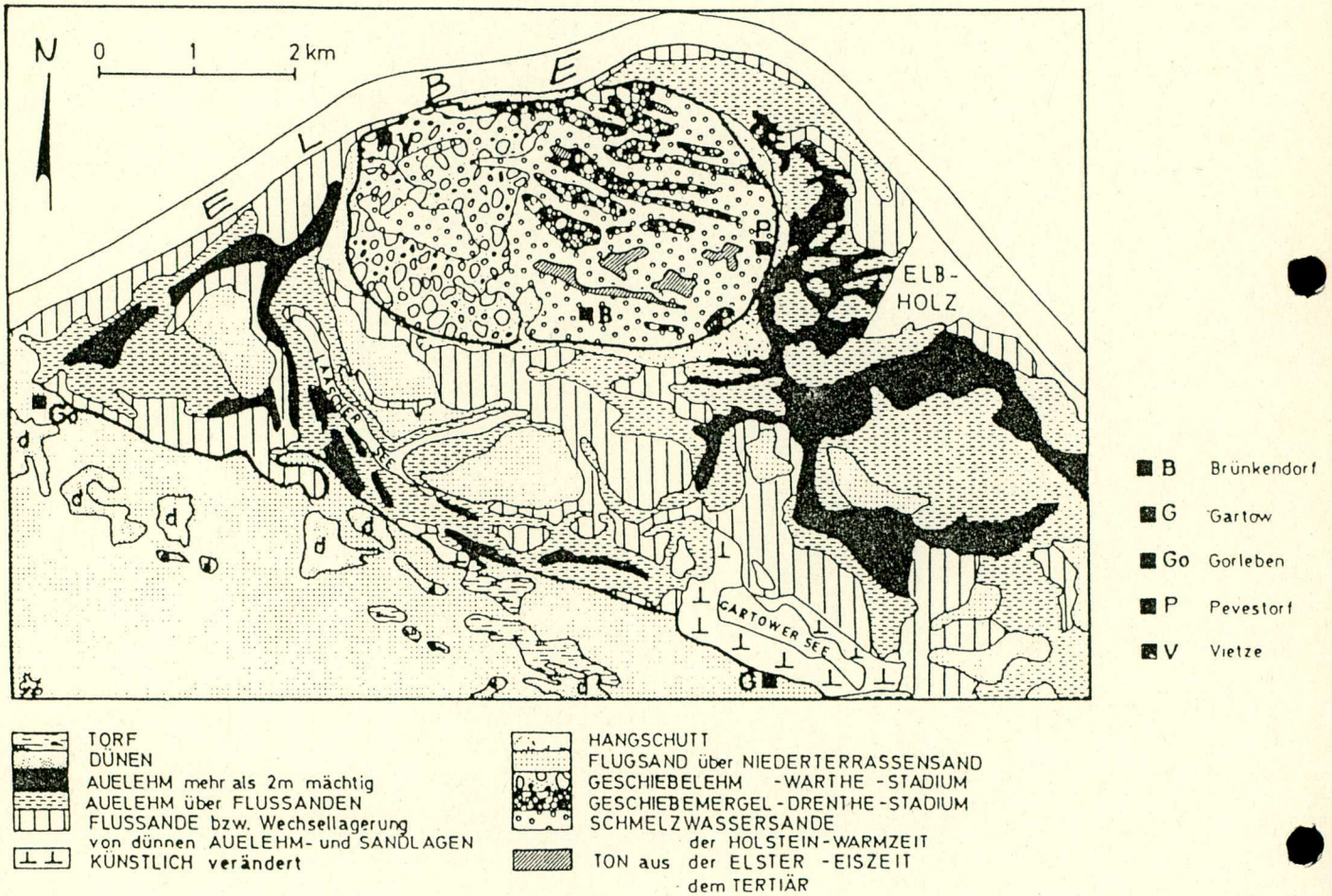
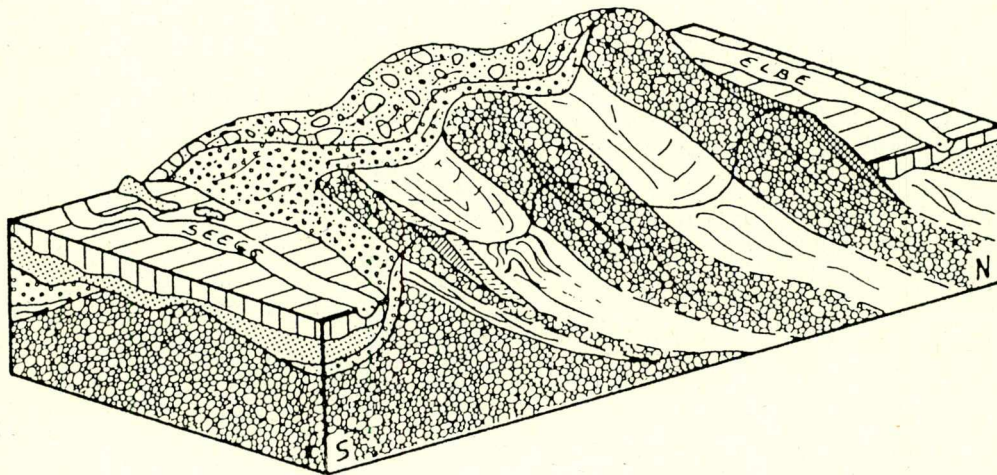


Abb. 34: Schematisches Blockbild der Stauchmoräne Hühbeck.
Tiefgang der Stauchung bis 150 m. Nach DUPHORN & SCHNEIDER
(1983).



Holozän		Weichsel-Eiszeit		Saale-Eiszeit	
Dünensande		Niederterrassen-Sande		Geschiebelehm/mergel (Warthe)	
Auesedimente				Schmelzwasser-Sande	
				Geschiebemergel (Drenthe)	
				Schmelzwasser-Sande	
Holstein-Warmzeit		Elster-Eiszeit		Tertiär	
See- und Meereston		Lauenburger Ton		Ton	

Abb. 35: Eistektonische Falte in der Sandgrube Brünkendorf-Nord, Hühbeck. Nach DUPHORN & SCHNEIDER (1983). Die Vergenz der Falte nach rechts zeigt die Eisbewegungsrichtung an.



Abb. 36: Liegende Falte in saaleeiszeitlichen Schmelzwassersanden (ehemalige Sandgrube westlich von Brünkendorf).- Horizontale Überschiebungsweite der Antiklinale über die Synklinale 2,5 m. Vertikaler Abstand der extremen Faltenschenkel 1 m. Nach DUPHORN & SCHNEIDER (1983).

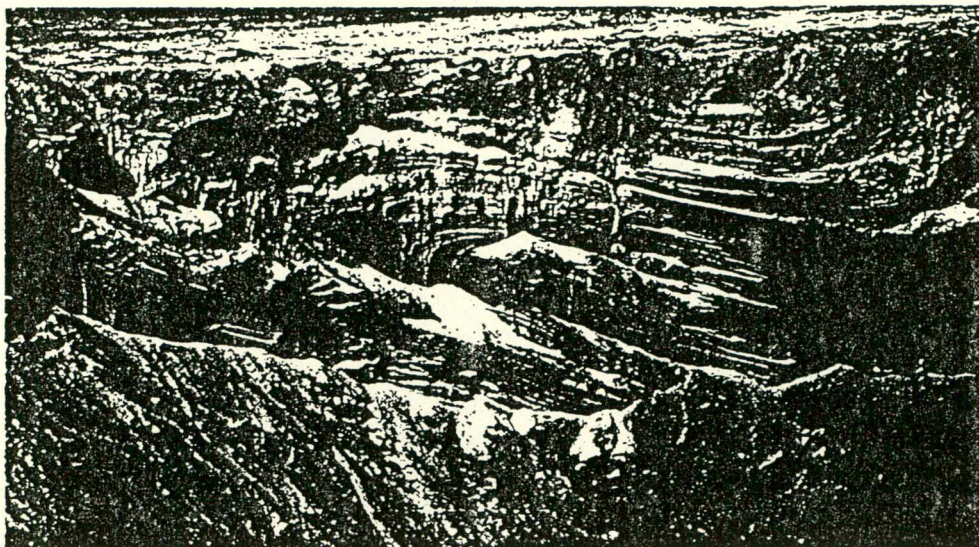
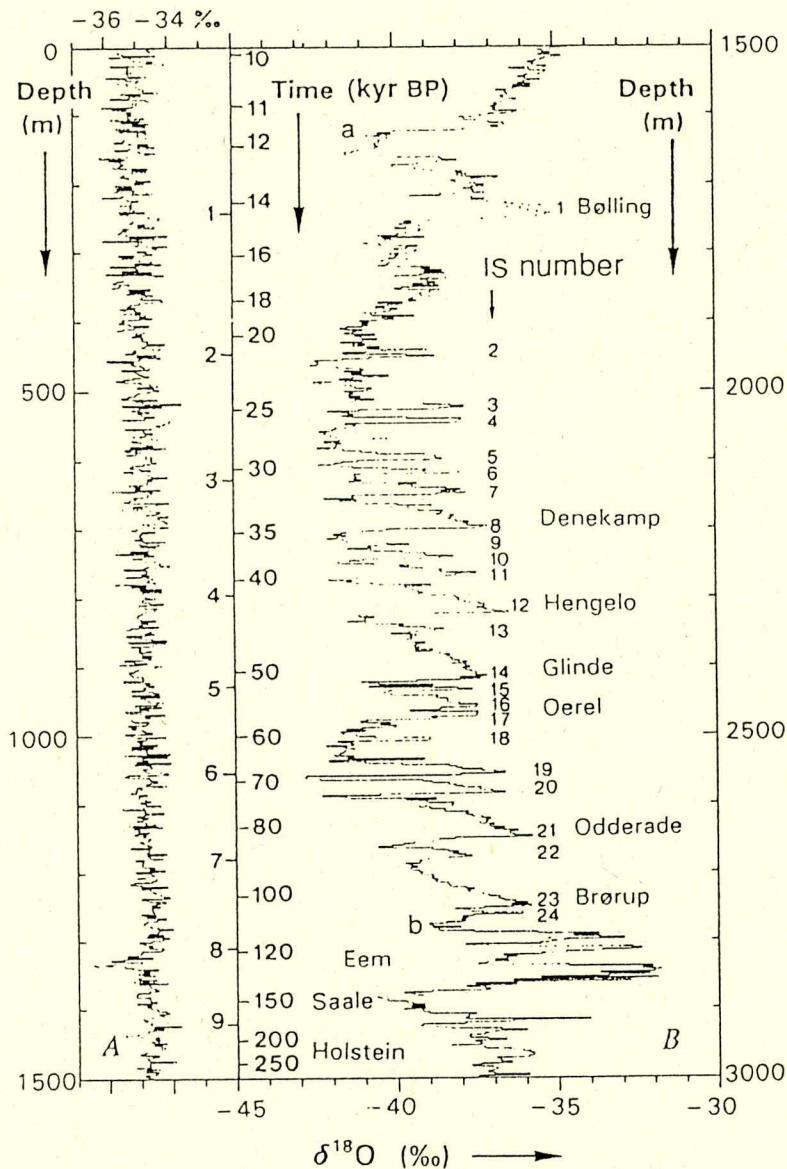


Abb. 38: Temperaturkurve der letzten 250.000 Jahre, abgeleitet aus Sauerstoffisotopen-Messungen an einem 3029 m langen Bohrkern aus dem grönländischen Inlandeis. Nach DANSGAARD u.a. (1993). Das relativ stabile Klima unserer holozänen Warmzeit (linke Kurve A) ist die Ausnahme, eine Vielzahl von radikalen Klimawechseln die Norm. So sank z.B. die Temperatur in der Eem-Warmzeit in nur 10-20 Jahren um 14°C , um nach wenigen hundert Jahren ebenso rasch wieder anzusteigen (Kap. 6.1). Diese Langzeit-Temperaturkurve macht die Begrenzung der nuklearmedizinischen Sicherheitsanalyse auf 10.000 Jahre aus paläoklimatologischer Sicht zur Makulatur.



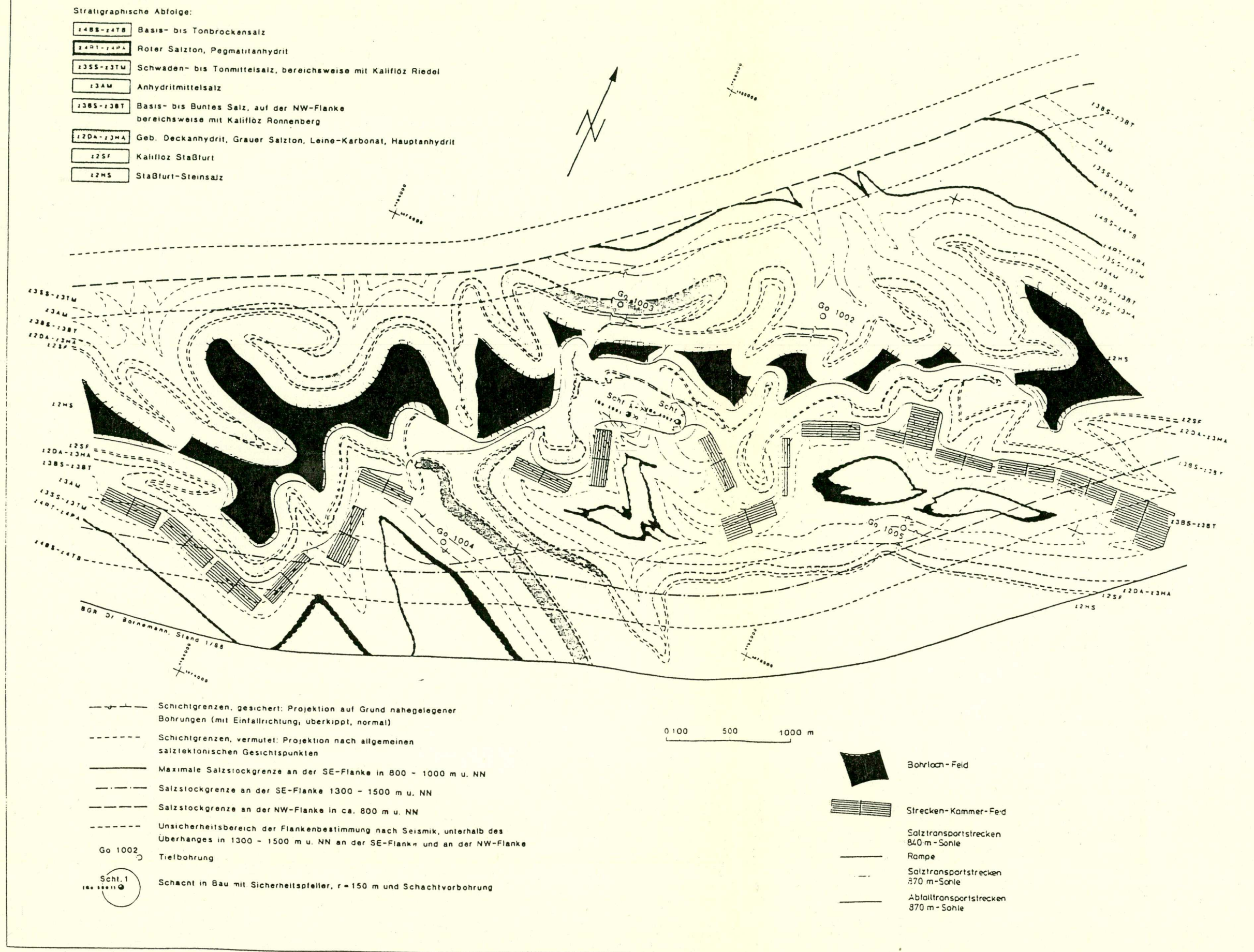


Abb. 39: Spekulative Darstellung der Einlagerungsbereiche für radioaktive Abfälle im Salzstock Gorleben. Nach BfS (1990: 221, US-Nr. 0026).

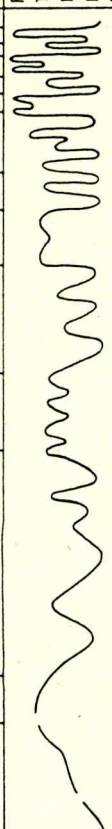
Tab. 2: Stratigraphische Gliederung der Zechsteinschichten.
Nach BfS (1991, US-Nr. 0049).

			alte Symbole	neue Symbole
Zechstein 4 Aller-Folge z4	Tonbrockensalz	Oberes T. Unteres T.	Na 4 delta	z4TS z4TSO z4TSU
	Rosensalz Schneesalz Basissalz Pegmatitanhydrit		Na 4 gamma Na 4 beta Na 4 alpha A 4	z4RS z4SS z4BS z4PA
		Pegmatitanhydrit 5 " " 4 " " 3 " " 2 " " 1		z4PA5 z4PA4 z4PA3 z4PA2 z4PA1
	Roter Salzton		T 4	z4RT
Zechstein 3 Leine-Folge z3	Tonmittelsalz	Tonmittel 3 Reinsalz 2 Tonmittel 2 Reinsalz 1 Tonmittel 1	Na 3 tm	z3TM z3TM3/t z3TM2/na z3TM2/t z3TM1/na z3TM1/t
	Kaliflöz Riedel Schwadensalz Anhydritmittelsalz	Anhydritmittelsalz 9 " " " 9 " " " salz 8 " " " 8 " " " salz 7 " " " 7 " " " salz 6 " " " 6 " " " salz 5 " " " 5 " " " salz 4 " " " 4 " " " salz 3 " " " 3 " " " salz 2 " " " 2 " " " salz 1 " " " 1	K 3 Ri Na 3 theta Na 3 eta am 9 am 8 am 7 am 6 am 5 am 4 am 3 am 2 am 1 Na 3 zeta K 3 Be Na 3 epsilon Na 3 delta K 3 Ro Na 3 gamma	z3RI z3SS z3AM z3AM9/na z3AM9/ah z3AM8/na z3AM8/ah z3AM7/na z3AM7/ah z3AM6/na z3AM6/ah z3AM5/na z3AM5/ah z3AM4/na z3AM4/ah z3AM3/na z3AM3/ah z3AM2/na z3AM2/ah z3AM1/na z3AM1/ah
	Buntes Salz Kaliflöz Bergmannsseggen Bändersalz Banksalz Kaliflöz Ronnenberg Orangesalz	Oberes O Gorleben-Bank Unteres O		z3BT z3BE z3BD z3BK z3RO z3OS
	Linien-salz	Oberes L. Mittleres L. Unteres L.	Na 3 beta	z3OSO z3OSO z3OSM z3OSU z3LS z3LSO z3LSM z3LSU
	Basissalz Hauptanhydrit		Na 3 alpha A 3 A 3 omega A 3 tau A 3 lambda A 3 kappa A 3 jota A 3 theta A 3 eta A 3 zeta A 3 epsilon A 3 delta A 3 gamma A 3 beta A 3 alpha	z3BS z3HA z3HA13 z3HA12 z3HA11 z3HA10 z3HA9 z3HA8 z3HA7 z3HA6 z3HA5 z3HA4 z3HA3 z3HA2 z3HA1
	Leine-Karbonat Grauer Salzton	Oberer Grauer S. Unterer Grauer S.	T 3	z3LK z3GT z3GTU z3GTO
	Gebänderter Deckanhydrit	Oberer Gebänderter D. Unterer Gebänderter D.	A 2 r	z2DA z2DAO z2DAU
	Decksteinsalz Kaliflöz Staßfurt Kies Übergangssch. Hangendsalz Hauptsalz		Na 2 r K 2 Na 2 (K) Na 2 gamma Na 2 beta	z2DS z2SF z2UE z2HG z2HS z2HS3 z2HS2 z2HS1
	Basissalz	Kristallbrockensalz Streifensalz Knäuelsalz	Na 2 alpha	z2BS

Tab. 3: Übersichtsschema der Quartär- und Tertiärstratigraphie und der zugehörigen Sedimente im Raum Gorleben. Nach BfS (1990, US-Nr. 0026).

STRATIGRAPHIE				SEDIMENTE (GENESE)				
Q U A R T Ä R	H O L O Z Ä N			Dünen und Flugsanddecken (atlisch)		Schluff, Ton, Muds, Feinsand, Torf (limnisch - fluviatil)		
	P L E I S T O Z Ä N	WEICHEL (Kz)	NIEDER- TERRASSE	0 U	Sand, Kies (fluviatil), lokal Schluff, Ton, Muds Zwischenlagen (limnisch, fluviatil)		Nachdeckend vertreten, Ausnahme Hahndeck	
		E E M (Wz)			Feinsand, schluffig, Schluffe, Ton, Muds Torf (fluviatil bis limnisch)		sehr geringe Verbreitung nur lokal außerhalb des Salzstocks	
		S A L E (Kz)	WARTHE	Schluff + Ton (glazilimnisch)		Sand, kiesig (glazifluviatil)		
				Geschlebmmergel				
			D R E N T E 2 1	Schluff, Ton (glazilimnisch)		Sand, kiesig (glazifluviatil)		Sand, kiesig (fluviatil - glazifluviatil)
				Geschlebmmergel				
				Schluff, Ton (glazilimnisch)		Sand, kiesig (glazifluviatil)		Sand, kiesig (fluviatil - glazifluviatil)
				Geschlebmmergel				
		HOLSTEIN (Wz)			Schluff, Ton, Muds, wenig Feinsand, selten Mittelsand (limnisch, brackisch, marin)			
		ELSTER (Kz)			LT Kom- plex	Schluff, Ton + Teil Lauenburger Ton (glazilimnisch)	Sand, selten Kies (glazifluviatil - glazilimnisch)	
				Geschlebmmergel		Sand, Kies (glazifluviatil und Rinnenbildung)		
			Schluff, Ton (geringe Bedeckung)					
CROMER KOMPLEX (Wechsel Wz - Kz)			Schluff / Muds - Sand - Wechsellage (limnisch)					
(Wz)			LEERDAM	Schluff, Muds, Torf (limnisch)				
			BAVEL					
MENAP (ODER ÄLTERE Kz)			Sand, partienweise kiesig, selten Schluff (fluviatil)					
T E R T I Ä R	P L I O Z Ä N			Nicht vorhanden				
	M I O Z Ä N	OBER		Nicht vorhanden				
		MITTEL		Braunkohlenton Tone und Schluffe mit sandigen Zwischenlagen, Braunkohlentlagen, fluviatil, limnisch nur in den Randseen des Salzstockes erhalten, Grundwasserstauer, marine Randsee-Tone in einer glazialen Schale (Göhr 192)				
		UNTER		Braunkohlensand Fein- und Grabsande, vereinzelt geringmächtige Schlufflagen, hamere Sandsteinlagen an der Basis, Braunkohlentlagen, Basis nach Westen zunehmend schluffiger, fluviatil, unten z. marin; urspr. Verbreitung: Randseen, Salzstockrand und über dem Salzstock, Grundwasserleiter				
	O L I G O Z Ä N	OBER	CHATT	NEO	Schluffe und Feinsande, vereinzelt Tonlagen, and. urspr. Verbreitung im gesamten Arbeitsgebiet, Grundwasserstauer bis Grundwasserhemmer			
				EO	Schluffe, vereinzelt Tonlagen nach unten zunehmend toniger, marin urspr. Verbreitung im gesamten Arbeitsgebiet, Grundwasserstauer			
		MITTEL	R U P E L	4				
				3	Schwach schluffige Tone, glaukonitführende Feinsande (Neuengammer Gassand), marin, urspr. im gesamten Arbeitsgebiet, Grundwasserstauer			
				2				
				1	Basis Grundwasserleiter bis - hemmer			
		UNTER	LATQORF		Schluffige Tone, marin, urspr. Verbreitung im gesamten Arbeitsgebiet außer im Bereich des südöstlichen Salzstockrandes, Grundwasserstauer			
	E O Z Ä N	OBER		Schluffe lang, lagenweise Fein- bis Feinsande, marin urspr. Verbreitung im gesamten Arbeitsgebiet, Grundwasserstauer				
		MITTEL		Tone, schluffige Tone, an der Basis glaukonitführende Sande und Sandsteinlagen (Brüssel-Sand), marin, urspr. Verbreitung im gesamten Arbeitsgebiet, Grundwasserstauer Basis Grundwasserleiter				
		UNTER		4				
				3	Schwach schluffige Tone, marin, urspr. Verbreitung im gesamten Arbeitsgebiet Grundwasserstauer			
	P Ä L Ä O - Z Ä N	OBER		Tone, lagenweise Feinsande und Feinsandsteinlagen, marin, urspr. Verbreitung im gesamten Arbeitsgebiet, Grundwasserstauer				
		UNTER		Nicht vorhanden				
		OBER-KREIDE			Karbonate			

Tab. 4: Stratigraphische Grundgliederung und Subrosionsphasen des Quartärs im Raum Gorleben. Nach DUPHORN (1986).

STRATIGRAPHISCHE GRUNDGLIEDERUNG UND SUBROSIONSPHASEN DES QUARTÄRS IM RAUM GORLEBEN				
Alter in 10 ⁶ Jahren BP	CHRONO-STRATIGRAPHIE	Polarwüste Tundra Kiefernwald Fallaubwald Südl. Fallaubwald-Zone Harlaubwald	SCHICHTENFOLGE	NACHWEISBARE SUBROSIONSPHASEN
0,01	HOLOZAN		bis 309 m vorherrschend glaziale Fazies bis 85 m limnisch-fluviatile Fazies des Baltischen Hauptstroms (über dem Salzstock Gorleben)	4) <u>Gegenwart</u> : Subrosionsrate 0,3 - 1,2 mm / Jahr, Abaugungsverlust bis 12.000 m ³ / Jahr. Aufstieg von Salzwasser bis 70 m unter Gelände, potentielle Wasserwegsamkeiten unbekannter Tiefe in den quartären Sandlagen des Salzstocks. Subrosionssenke mit zwei Abaugungsseen über dem Nachbarsalzstock Rambow.
0,13	WEICHSEL-EISZEIT			
	WEIM-WARMZEIT			
	SAALE-EISZEIT			
	HOLSTEIN-WARMZEIT			
	ELSTER-EISZEIT			
	CROMER-KOMPLEX			
0,9	BAVEL-KOMPLEX			3) <u>Saale-Eiszeit</u> : Subrosive Absenkung der Holstein-Tone im mittleren Salzstockgebiet bis 100 m. Subrosionsrate ca. 1,5 mm / Jahr.
	MENAP-KOMPLEX			
	WAAL-KOMPLEX			2) <u>Elster-Eiszeit</u> : Ausraumung und Vertiefung der Subrosionssenke über der Scheitelzone des Salzstocks durch Gletscherschurf und Schmelzwassererosion bis 292 m unter NN auf 7,5 km ² der Gipshutoberfläche. Selektive Abaugung des carnallitischen Kaliflozes Staßfurt unter dem Elster-Eis bis >32 m und Kainitierung bis >140 m unter dem Salzspiegel. Einspülung von Schmelzwassersand in die Abaugungszonen im Salzstock und seitliche Unterspülung der alttertiären Deckschichten im Gipshut von den Rinnenflanken her mit Sandtransport bis ca. 2 km.
	EBURON-KOMPLEX			
	TEGELEN-KOMPLEX			1) <u>Bavel-Warmzeit bis Elster-Eiszeit</u> : Subrosive Absenkung der Gipshutoberfläche im südlichen Salzstockgebiet von >40 m über NN bis 237 m unter NN, im Nordteil bis 260 m unter NN. Subrosionsrate 0,4 - 0,5 mm / Jahr. Abaugungsverlust ca. 3 km ³ .
2,3	PRAETEGELEN-KOMPLEX		8 m Loosener Kiese des Baltischen Hauptstroms (in der Prignitz) bei 40 m über NN	
	REUVER-STUFE			<u>Im Menap-Komplex</u> Diapirphase mit Salzstockdurchbruch bis zur Erdoberfläche (bei >40 m über NN) und Beginn der quartären Tiefensubrosion.

8. Ermittlungs- und Bewertungsdefizite

Die Randbedingungen und Bewertungsmaßstäbe, unter denen die Aussagen zur Frage der geologischen Eignungshöflichkeit des Salzstockes Gorleben und zu den fachlichen Unterlassungen der dortigen Endlagerforschung erfolgen, gründen sich wesentlich auf einen Vergleich der vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) beim Niedersächsischen Umweltministerium im Hinblick auf das atomrechtliche Verfahren eingereichten Verwaltungsunterlagen (US-Berichte 0001-0061, Stand 15.6.1993) mit der externen Fachliteratur sowie mit den fünf nachstehend angeführten Gesetzen, Regeln, Richtlinien und Sicherheitskriterien:

- 1) Das Atomgesetz, das derzeit von der Bundesregierung novel-
liert wird.
- 2) Die Sicherheitskriterien der Reaktorsicherheitskommission
für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk
(Rdschr. d. BMI v. 20.4.1983 - RS - AGK3 - 515790/2).
- 3) Die sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Aus-
schusses (KTA 2201, Teil 1).
- 4) Die vier geologischen Auswahlkriterien der Niedersächsi-
schen Landesregierung vom Jahr 1977 (JARITZ 1981 und Bundes-
tagsdrucksache 8/3082).
- 5) Die Regierungserklärung der Niedersächsischen Landesregie-
rung vom 16. Mai 1979. Darin wird gefordert, daß andere Stand-
orte erkundet werden sollen, falls die Bohrungen bei Gorleben
negativ ausfallen sollten (VIEHL 1980).

Die Nichtberücksichtigung der modernen Fachliteratur in eini-
gen US-Berichten nimmt teilweise Ausmaße an, die nur noch psy-
chologisch erklärt werden können. Daß Einzelpersonen beim
Treffen von Entscheidungen Informationen verzerrt aufnehmen,

ist schon lange bekannt. In jüngerer Zeit wurde jedoch nachgewiesen, daß homogene Expertengruppen bei der Informationssuche und -bewertung noch stärker verzerren als Einzelpersonen (FREY 1990). Abgeschirmte Expertengruppen bestätigen sich in einer Scheinsicherheit gegenseitig, bewerten konträre Informationen von außen unter oder ignorieren sie gar. Solche Gruppen, deren Mitglieder sich jahrelang selbst bestätigen, neigen in ihrer hohen (Schein-) Sicherheit zu riskanteren Entscheidungen. FREY spricht vom "Phänomen des in die eigene Tasche arbeitens".

Ab Kapitel 5.2 sind diejenigen Literaturzitate, die in die US-Berichte keinen Eingang gefunden haben, durch Unterstreichung gekennzeichnet. Somit kann der Leser sich bei der Lektüre selbst ein Bild über das Literaturdefizit einiger hinsichtlich des geplanten atomrechtlichen Planfeststellungsverfahrens wesentlicher US-Berichte machen. In den Kapiteln 2.5, 2.6, 5, 6 und 7 kommen die sicherheitsrelevanten Ermittlungs- und Bewertungsdefizite der Endlagerergremien so reichlich zutage, daß die vorliegende Studie konstruktive Züge annimmt, für die eigentlich das Gorleben-Forschungsmanagement zuständig ist.

8.1 Salzstock Gorleben

1) Die o.g. US-Berichte enthalten keine Abschätzung der Gesamtmenge der radioaktiven Abfälle, die im Salzstock Gorleben endgelagert werden sollen. Die Mengenangaben reichen nur bis zum Jahr 2000, das heißt, noch nicht einmal bis zum im Jahre 2008 geplanten Einlagerungsbeginn (HOLLMANN & BRENNECKE 1993, s. Kap. 1.2). Somit fehlt hinsichtlich der zu beurteilenden Eignungshöflichkeit eine wesentliche quantitative Bewertungsgrundlage.

2) Die Bundesregierung strebt seit den Koalitionsvereinbarungen im Jahre 1989 eine Novellierung des Atomgesetzes an. Dabei ist u.a. die Öffnung zur direkten Endlagerung vorgesehen. Damit soll der bisher im AtG festgeschriebene Vorrang der Wiederaufarbeitung entfallen.

Die deutschen Energieversorgungsunternehmen werden voraussichtlich aus ökonomischen Gründen diese Freistellung vom Zwang zur Wiederaufarbeitung nutzen und auf Brennstoffrezyklierung verzichten. Auf die Wiederaufarbeitungsanlage Wackersdorf haben sie bereits verzichtet (FICHTNER 1991, CLOSS 1990).

Davon wird auch das geplante Endlager im Salzstock Gorleben betroffen sein. Dessen Sattel aus Staßfurt-Steinsalz, der die wärmeentwickelnden radioaktiven Abfälle aufnehmen soll, ist nämlich im Endlagerniveau am Schacht Gorleben 1 mit 500 m nur etwa halb so breit wie vor Bohrbeginn erwartet (Abb. 21). Bei einer horizontalen Sicherheitsfeste von je 75-100 m bleiben dort für das Endlager nur 300-350 m übrig. Legt man die dänischen Sicherheitsabstände von 150-200 m zugrunde, wären es sogar nur 100-200 m (Kap. 7.2).

Die Abb. 39 vermittelt mit ihrem filigranen Muster auch dem Nichtgeologen einen Eindruck von der struktureologisch bedingten Beengtheit der geplanten Einlagerungsbereiche. Bei einer bevorzugten direkten Endlagerung der abgebrannten Brennelemente wird sich dieses Kapazitätsproblem noch vergrößern, weil dann wegen der erhöhten spezifischen Wärmeleistung im Endlager mehr Platz gebraucht wird. Das Kapazitätskriterium der Niedersächsischen Landesregierung (Kap. 7.2) wird somit nach der Novellierung des AtG noch mehr in Frage gestellt sein als es derzeit schon ist.

Natürlich haben auch die vor Ort aktiven Endlagergeologen das Kapazitätsproblem erkannt. Eine erste Konsequenz wurde bereits gezogen: Aus dem früheren Na2-Konzept ist ein Na2+Na3-Konzept mit Einlagerungsflächen sowohl im Staßfurt- als auch im Leine-

Steinsalz geworden (Kap. 7.2). Die zweite Konsequenz, eine Neuberechnung der Gesamtmenge der einzulagernden radioaktiven Abfälle unter Berücksichtigung des Steinsalz-Volumens im Endlagerniveau und der veränderten Rahmenbedingungen des Atomgesetzes steht unmittelbar nach dessen Novellierung an.

3) Das Forschungsmanagement hat versäumt, die Analyse der Dynamik des Salzstockes Gorleben durch eine bis in das Rotliegende zurückreichende regionaltektonische Struktur- und Beckenanalyse der weiteren Umgebung zu ergänzen. Ohne diese Ergänzung werden die mageren fachlichen Aussagen zur Tektonik in den US-Berichten dem tektonischen Sicherheitskriterium der RSK nicht gerecht. Im Kapitel 2.5 wird versucht, dieses Versäumnis unter besonderer Berücksichtigung der umfangreichen modernen Fachliteratur zumindest ansatzweise nachzuholen. Als Leitfaden dienen die Abbildung 2 und die Abbildungsreihe 7-11.

Die regionale Tektonik der Pompeckjschen Scholle und der Prignitz-Scholle, an deren Scharnier die Salzstruktur Gorleben-Rambow liegt, wird von der BGR (US-Nr. 0038 und 0048) mit 1-2 Textseiten grob vernachlässigt. Das BfS (1990, US-Nr. 0026) schreibt dazu gar nichts. Die jüngsten bzw. "modernsten" Literaturzitate aus den angrenzenden neuen Bundesländern stammen trotz einer Vielzahl von sicherheitsrelevanten Neuerscheinungen aus den Jahren 1978 und 1976.

4) Bei der Salztektonik (Kap. 3.2) werden die Ergebnisse und Interpretationen der BGR-Arbeitsgruppe für den Geotektonischen Atlas von NW-Deutschland 1:100.000 für den Raum Gorleben nicht akzeptiert (KOCKEL 1989, KOCKEL u.a. 1990, JARITZ 1992). Hier besteht ein interner Klärungsbedarf.

Die Annahme RÜHBERG's (1976), die Salzstruktur Gorleben-Rambow liege auf einer subsalinaren Sockelstörung, konnte weder durch die großräumige Reflexionsseismik noch durch die drei gezielt angesetzten Salzstockflanken-Unterschießungen (Auflösungsvermögen im Zehnermeter-Bereich unter 50 m) mit hinrei-

chender Sicherheit ausgeräumt werden, weil horizontale Blattverschiebungen, die in der Umgebung für den tieferen Untergrund typisch sind (Abb. 8 u. 10), damit nur schwer oder gar nicht erfaßt werden können. Erst müssen noch 2-3 Tiefbohrungen bis in das variscisch gefaltete Fundament niedergebracht werden. Nur so kann eine vermutete Blattverschiebung als Sockelstörung unter der Salzstruktur Gorleben-Rambow mit hinreichender Sicherheit ausgeschlossen werden.

Die Salzstruktur Gorleben-Rambow liegt am tektonischen Scharnier zwischen der Pompeckjschen Scholle und der Prignitz-Scholle sowie über der östlichen Randverwerfung des im Rotliegenden gebildeten Wustrow-Grabens (Abb. 2 u. 8). Daher müssen neotektonische Reaktivierungen ausschließbar sein. Wenn nicht, gilt die Forderung von LEYDECKER (1980, S. 554).

"daß eine kerntechnische Anlage, wie z.B. ein Endlager, innerhalb eines stabilen geologischen Blocks liegen muß, also weder auf noch in unmittelbarer Nähe einer bedeutenden tektonischen Grenzzone".

5) Die Kapitel 2.5 (regionale Tektonik) und 3.2 (Salztektonik) sind hinsichtlich der Sicherheitsbetrachtungen eng mit dem Kapitel 2.6 (Erdbeben) verbunden. Letzteres endet mit folgendem Satz:

"Die zitierten Aussagen und US-Berichte lassen eine solche Vielzahl von gravierenden tektonischen und seismologischen Ermittlungs- und Bewertungsdefiziten erkennen, daß es, um Wiederholungen zu vermeiden, sinnvoll erscheint, diese Defizite nur im hierfür vorgesehenen Kap. 8 aufzulisten". Was hiermit geschieht.

Die seismologische Beurteilung des Standortes Gorleben stützt sich hauptsächlich auf das Gutachten von AHORNER (1989, US-Nr. 0013). Bei der Festlegung der vom Kerntechnischen Ausschuß

vorgeschriebenen Bemessungserdbeben wurden die beiden Prignitz-Beben vom 23. August 1410 und vom Jahre 1412 berücksichtigt (s.u.).

Die Erdbebenzonierung von AHORNER u.a. (1970), die in die sicherheitstechnische Regel des KTA Eingang gefunden hat (s. Abb. 14), ist in diesem Zusammenhang wegen ihrer groben Vereinfachung in der geophysikalischen Fachwelt mehrfach kritisiert worden (GUTDEUTSCH u.a. 1992). Die Erdbeben in den 5 neuen Bundesländern blieben dabei gänzlich unberücksichtigt. Für den Standort Gorleben, der an Mecklenburg, Brandenburg und Sachsen-Anhalt grenzt, macht sich dieser Mangel besonders nachteilig bemerkbar. Der Kerntechnische Ausschuß hat aus der Fachkritik 1990 die Konsequenzen gezogen und empfohlen, die AHORNER'sche Erdbebenzonierung fortan lediglich als eine generelle Vorinformation aufzufassen.

Trotz der Bedenken von LEYDECKER (1980, S. 551), der darauf hinweist, daß die Epizentren der beiden Prignitz-Erdbeben wegen zu weniger Daten nicht genau bestimmbar sind, stützt sich die BGR (1991, US-Nr. 0048) bei der Festlegung der Bemessungserdbeben ohne erkennbare eigene Recherchen, ohne fachliche Begründung und ohne Fehlerradius bei der Lokalisierung der Epizentren auf zwei relativ weit voneinander entfernte Koordinatenpunkte (s. Abb. 12):

Auslegungserdbeben (1412): 53.00 S und 12.00 E. Geographische Position: Elbe-Umbiegung bei Havelberg. Entfernung Epizentrum - Gorleben etwas unter 50 km.

Sicherheitserdbeben (1410): 53.00 S und 12.30 E. Geographische Position: 6 km südöstlich von Neustadt a.d. Dosse. Entfernung Epizentrum - Gorleben etwa 75 km.

Bei der Festlegung dieser beiden Bemessungserdbeben blieben die im Bebengebiet von anderen durchgeführten Recherchen der jüngeren Zeit unberücksichtigt. BfS und BGR ignorieren in ihren zusammenfassenden US-Berichten vom Jahr 1990 sogar den 1988 erschienenen Erdbebenkatalog der DDR.

Im Erdbebenkatalog der DDR (GRÜNTAL 1988) sind auch die beiden Prignitz-Beben verzeichnet, aber beide mit einem einheitlichen Epizentrum (Abb. 13). Koordinaten: 53.00 N und 12.25 E. Geographische Position: 6 km südwestlich von Neustadt a.d. Dosse. Im Gegensatz zu den Endlagergrünien wird darin außerdem der statistischen Unsicherheit bei der Festlegung des Epizentrums mit der Hinzufügung eines geschätzten Lokalisationsfehlers entsprochen. Zu jedem Beben wird der wahrscheinliche Fehlerradius des Epizentrums vermerkt. 4 Präzisierungsklassen werden unterschieden. Die beiden Prignitz-Beben gehören in die höchste Klasse mit einem Fehlerradius von etwa 30 km (Abb. 13).

Nach neuen, noch nicht veröffentlichten Recherchen haben das Sicherheitserdbeben in der Prignitz nicht am 23. August 1410, sondern am 24. Oktober 1409 und das schwächere Auslegungserdbeben vom Jahre 1412 gar nicht stattgefunden (mündl. Mitteilung von Dr. GRÜNTAL, Potsdam 1993).

Ein Vergleich mit der "Karte der rezenten vertikalen Erdkrustenbewegungen vom Territorium der Deutschen Demokratischen Republik" (ELLENBERG 1988) deutet auf einen örtlichen Zusammenhang des Prignitz-Bebens von 1409 entweder mit der neotektonischen Kalkhorst-Mesendorfer Störung oder mit der neotektonischen Wittenberg-Havelberger Störung hin. Auch diese beiden Störungen und die o.g. Karte bleiben in den US-Berichten unerwähnt.

Das neue Epizentrum für das Prignitz-Beben von 1409 liegt von Gorleben etwa 70 km und vom Mittelpunkt der Salzstruktur Gorleben-Rambow am Elbe-Mäander zwischen Lenzen und dem Hühbeck

nur etwa 65 km entfernt. Unter Berücksichtigung des o.g. Feh-
lerradius von 30 km ergibt sich für sein Epizentrum eine mög-
liche Entfernung von 35-95 km. Somit rückt das derzeitige Si-
cherheitserdbeben gemäß der sicherheitstechnischen Regel des
Kerntechnischen Ausschusses in die Kategorie des Auslegungs-
erdbebens.

Nach freundlicher mündlicher Mitteilung von G. GRÜNTAL, Pots-
dam 1993, hat die Fühlbarkeit des Prignitz-Schadenbebens vom
24. Oktober 1409 über Lübeck hinaus bis zur dänischen Fünen-
Halbinsel Føns gereicht. Somit erweitert sich sein Schütter-
radius von etwa 180 km (Raum Lübeck) auf mindestens 300 km.
Infolgedessen muß bei der anstehenden Umbewertung vom Sicher-
heits- zum Auslegungserdbeben auch eine etwas höhere Intensi-
tätseinstufung (VIII) mit in das Kalkül einbezogen werden.

Fazit: Die derzeitige tektonisch-seismologische Planungsgrund-
lage für den Bau des Endlagers im Salzstock Gorleben ist
von zweifelhafter wissenschaftlicher Seriosität und wird
weder dem tektonischen Sicherheitskriterium der RSK noch
der sicherheitstechnischen Regel des Kerntechnischen Aus-
schusses (KTA 2201, Teil 1) gerecht.

6) Weder die Berichte noch die wissenschaftlichen Veröffent-
lichungen der Endlagergremien lassen eine Bewertung der vier
geologischen Auswahlkriterien der Niedersächsischen Landesre-
gierung vom Jahr 1977 erkennen (Kap. 7).

7) Ein Endlager gilt als sicher, wenn die in den nächsten
10.000 Jahren entwichenen Radionuklide beim Menschen nicht zu
Individualdosen führen, die die Grenzwerte des § 45 der Strah-
lenschutzverordnung übersteigen. Der geologische Bewertungs-
zeitraum der PTB/BfS beträgt 1 Million Jahre.

Als Geologe, der sich bei seiner Beurteilung der Eignungshöf-
figkeit gemäß der Planungsvorgabe der PTB/BfS (EHRlich u.a.
1986) vom Gesamtzustand des geologischen Mehrbarrierensystems

in der jüngeren Hälfte des quartären Eiszeitalters leiten läßt, habe ich keine Einwände gegen die Durchführung einer nuklearmedizinischen Sicherheitsanalyse. Sie darf aber nicht als "Endlager-Evangelium" mißbraucht und zu Lasten der Bohrbefunde sowie der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien der Niedersächsischen Landesregierung, der Reaktorsicherheitskommission und des Kerntechnischen Ausschusses durchgesetzt werden. Die in den Bohrungen angetroffenen Schwächen und Blößen des geologischen Systems lassen sich nicht mit einem Grenzwert zudecken, der wissenschaftlich gar nicht exakt ableitbar ist und daher nur Annäherungswissen darstellt. Daran ändert sich in der Sache auch dann nichts, wenn der Grenzwert, wie geschehen, auf dem Verwaltungswege den Rang einer gesetzlich festgelegten Sicherheitskonstante erhalten hat.

8) Die zeitliche Begrenzung der Sicherheitsanalyse auf etwa 10.000 Jahre wird von der PTB folgendermaßen begründet:

"Diese Vorgehensweise ist nur für solche Zeiträume sinnvoll, innerhalb derer Veränderungen der geologischen Barrieren und der Umgebung des Menschen, insbesondere durch die irdische Klimadynamik, noch ausreichend verläßlich prognostiziert werden können" (EHRlich u.a. 1986: 231).

Der klimatologische Kenntnisstand, auf dem diese Aussage beruht, stammt aus den 70er-Jahren. Der in den o.g. US-Berichten nicht berücksichtigte moderne Kenntnisstand stellt jedoch die klimatologische Begründung für die sicherheitsanalytische Zeitbegrenzung in Frage. Danach ist die Unbeständigkeit des quartären Klimas und die Rasanz der klimatischen Umstellungen von Eis- und Tundrazeiten zu Warmzeiten und umgekehrt die Norm und das relativ stabile Klima der letzten 10.000 Jahre die Ausnahme. Diese Umstellungen können in nur 10-50 Jahren ablaufen (Kap. 6.1 und Abb. 38).

9) Die PTB dachte bei der o.g. Begründung auch an den Treibhauseffekt. Die US-Berichte lassen aber dessen Analyse im speziellen Hinblick auf das Endlager Gorleben vermissen. Auch dieses Versäumnis mußte hier - neben einigen anderen - nachgeholt werden (Kap. 6.1).

10) Nach den neuen astronomischen Strahlungskurven können die Tundraverhältnisse, die in den letzten 115.000 Jahren in Mitteleuropa dominierten, in etwa 5000 Jahren dorthin zurückkehren, nach den Bohrbefunden aus dem grönländischen Inlandeis aber auch schon früher (Kap. 5.6 und 6.1).

Der Dauerfrostboden der Tundra zeigt den Endlagergremien eine positive und eine negative Seite: Einerseits hemmt er die Grundwasserzirkulation und somit auch die Salzablaugung, andererseits enthält er Eiskeile und kryogene Kontraktionsrisse. Letztere können einen Tiefgang von 400-600 m erreichen, die Barriere Deckgebirge durchschneiden, die Barriere Salzstock bis in die 300 m-Sicherheitsfeste über dem Endlager verletzen und damit die Schutzwirkung des geplanten geologischen Barrieresystems in Frage stellen (BAUER 1991, EISSMANN & HÄNSEL 1991).

11) Das skandinavische Inlandeis hat sich nach den mathematisch-geophysikalischen Modellrechnungen von DELISLE (1991) innerhalb von nur 8000-12.000 Jahren bis nach Norddeutschland ausgedehnt. Geologische Befunde aus dem nordeuropäischen Vereisungsgebiet bestätigen dieses Modell. Nach beiden, dem Modell und den Befunden sowie nach einer Bewertung derselben sucht man in den US-Berichten vergeblich.

12) Das gleiche gilt für das "Worst-Case Glaciation Scenario" einer Arbeitsgruppe des Reichsgeologischen Dienstes der Niederlande (WILDENBORG u.a. 1990). Nach diesem Szenario könnten in der nächsten Eiszeit innerhalb von 10.000 Jahren diejenigen Salzstöcke der Niederlande und Norddeutschlands, deren Gips- und Anhydritoberflächen weniger tief als 540 m unter Gelände liegen,

und dazu gehört auch die Salzstruktur Gorleben-Rambow, ähnlich wie in der Elster-Eiszeit von der subglaziären Rinnenerosion beeinflußt werden. Zumindest den Ansatz einer Bewertung findet man im Kap. 6.1 der vorliegenden Studie.

13) Die unter dem Elster-Eis entstandene Gorlebener Rinne liegt großflächig über und in der Scheitelzone des Salzstockes Gorleben (Kap. 2.4 u. 7.3) und bildet mit ihren in den Salzstock eingreifenden Ausläufern eine hydrogeologische Schwachstelle (s.u.). Ihre Maximalteufe beträgt nach BfS (1990: 134, US-Nr. 0026) 290 m unter NN und nach JARITZ u.a. (1986) 320 m unter NN. Die BGR (1991, US-Nr. 0048) enthält sich der Stimme. Somit bleibt ungeklärt, wie tief diese sicherheitsrelevante Rinne ist.

14) Vom Grunde der Gorlebener Rinne aus wurde unter hohem hydrostatischen Überdruck stehendes Schmelzwasser mitsamt seiner Sedimentfracht längs des Salzspiegels großflächig in den unteren Teil des Gipshutes eingespült. Der Überdruck war so groß, daß das unterströmende Schmelzwasser (ähnlich wie beim technischen Fracturing-Verfahren) ein bis über 100 m mächtiges Schichtenpaket aus Gipshut und tertiären Deckschichten en bloc um mehrere Zehnermeter anheben konnte (Kap. 3.1.3 u. 5.3).

Dieses geophysikalische Fracturing-Modell wurde in der BGR entwickelt (DELISLE 1988, 1989) und dort auch archiviert. Auch in die Literaturverzeichnisse von BGR (1991, US-Nr. 0048) und BfS (1991, US-Nr. 0049) hat es Eingang gefunden. Im Text dieser und anderer US-Berichte sucht man aber nach diesem sicherheitsgeologisch relevanten Modell der Rinnenbildung und Gipshutunterströmung ebenso vergeblich wie nach Karten der Verbreitung und der Mächtigkeit der glazifluviatilen Gipshutbrekzie. Nicht einmal deren maximale Mächtigkeit wird angegeben.

15) Laut BfS (1990: 294, US-Nr. 0026) und BGR (1991: 347, US-Nr. 0048)

"hat ein spezielles Bohrprogramm die untere Grenze der Einwirkung von Grundwasser auf die besonders leicht löslichen Salze des Kaliflözes Staßfurt ca. 140 m bis 170 m unterhalb des Salzspiegels ermittelt. Hieraus ergeben sich keine Hinweise auf eine mögliche Gefährdung der Sicherheit des geplanten Endlagers".

Mit dieser Sicherheitsprognose wird der geologische Begriff der Eignungshöflichkeit (Kap. 1.3), den die Endlagergremien seit 1983 für den Salzstock Gorleben beschwören, pervertiert. Denn die Prognose stützt sich wesentlich auf ein Profil mit nur 6 Bohrungen, das quer zum Streichen des besonders subrosionsgefährdeten Kaliflözes angesetzt wurde (s. Abb. 32). Das Kaliflöz tritt jedoch im zentralen Salzstockgebiet in drei Strängen auf (Abb. 21 u. 22) und wird dort auf einer Länge von insgesamt etwa 25 km vom Salzspiegel gekappt. Davon ist der allergrößte Teil subrosionsgeologisch "Terra incognita". Es ist damit zu rechnen, daß das elstereiszeitliche Schmelzwasser nicht ausgerechnet im ersten und bisher einzigen Bohrprofil am tiefsten in den Salzstock eingedrungen ist, sondern daß es an anderen Stellen auch die 300 m-Sicherheitsfeste über dem Endlager erreicht und verletzt hat. Ein "spezielles Bohrprogramm", das diesen Namen verdient, steht noch nicht einmal auf dem Papier (s. Kap. 9).

16) Die großflächige Subrosion und ihre mittleren Raten sind im Vergleich zur selektiven Tiefensubrosion sicherheitsgeologisch von untergeordneter Bedeutung. Die Langzeitprognosen von BFS (1990: 295, US-Nr. 0026) und BGR (1991: 347, US-Nr. 0048) leiten jedoch die quartäre Subrosionsrate von 0,01-0,02 mm/Jahr aus der Randsenkenanalyse von über 20 Millionen Jahre alten Leithorizonten des Tertiärs ab. Vom sicherheitsanalytischen Zeitlimit (10.000 Jahre) und auch vom amtlichen geologischen Bewertungszeitraum (1 Mio. Jahre) ist diese Prognose daher schon vom zeitlichen Ansatz her weit entfernt.

Außerdem gibt es Beanstandungen methodischer Art, denn die selektive Tiefensubrosion bleibt bei dieser Prognose ebenso unberücksichtigt wie die Gesamtspanne der mit verschiedenen quartär- und hydrogeologischen Methoden direkt ermittelten Subrosionsraten für die beiden o.g. Bewertungszeiträume (Kap. 5., 6.3 u. 7.3). Eine vergleichende Analyse der Arbeitsmethoden, Bohr- und Meßbefunde, Deutungen und sicherheitsgeologischen Betrachtungen zur quartären Subrosion findet man in den US-Berichten nicht. Sie wurde im Kapitel 5.1-5.6 der vorliegenden Studie nachgeholt.

17) Auch die nachelsterzeitliche Subrosionsrate der BGR (0.04 mm/Jahr) steht am unteren Ende der Skala. Sie beruht auf dem Neuzuwachs von Gips und Anhydrit an der Basis der elsterzeitlichen Gipshutbrekzie. Dieser methodische Ansatz ist neu und interessant. Es müssen aber noch die rezente Sulfatfazies im Soleaufstiegswasser (abzüglich des Gipshut-Karstwassers) und der nachelstereiszeitliche Sekundäranhydrit inmitten der Gipshutbrekzie quantifiziert und addiert werden. Letzterer ist, wie einige mineralogische Dünnschliffuntersuchungen von DUPHORN & RICHTER (1987) zeigen, dabei nicht vernachlässigbar. Erst dann erhält diese Subrosionsrate einen wissenschaftlichen Wert.

18) Die Langzeit-Sicherheitsprognose der BGR für den Salzaufstieg (BGR 1991: 347, US-Nr. 0048) stützt sich auf die o.g. Salzaufstiegsrate (0,01-0,02 mm/Jahr), die aus der Randsenkenanalyse von über 20 Millionen Jahren alten Leithorizonten des Tertiärs abgeleitet wurde. Sie lautet:

"Für die Zukunft sind keine größeren Hebungsraten zu erwarten".

Wie so oft in den US-Berichten, fehlt auch bei dieser Prognostizierung die ordnende und koordinierende Hand des Forschungsmanagements, fehlt das interdisziplinäre Prozeßdenken, welches

sicherheitsrelevante Ergebnisse aus verschiedenen Untersuchungsbereichen für eine ganzheitliche Sicherheitsbetrachtung zusammenfügt. Die zeitlich weithergeholte Salzaufstiegsrate 0,01-0,02 mm/Jahr ist doch unerheblich und von rein akademischem Interesse gegenüber den thermisch induzierten Hebungen, die infolge der Freisetzung radioaktiver Zerfallswärme im Endlager innerhalb des sicherheitsanalytischen Bewertungszeitraumes in zwei bis dreifach höheren Größenordnungen erwartet werden (Kap. 6.2).

19) Nach den thermomechanischen Berechnungsmodellen der BGR (1991: US-Nr. 0048) werden diese Hebungen im Salzspiegelbereich mit ca. 3,30-3,70 m innerhalb von wenigen tausend Jahren nach der Einlagerung ihre Maximalwerte erreichen. Es ist unverständlich, warum die thermisch induzierten Hebungen, vor allem aber die damit verbundenen Rißbildungen bei der o.g. Sicherheitsprognose unberücksichtigt geblieben sind. Dies ist eine Mißachtung der sicherheitsanalytischen Planungsvorgabe. Die thermisch induzierten Rißbildungen können nach den Berechnungsmodellen bis 250 m unter den Salzspiegel hinabreichen.

20) Aus glazialtektonischer und sicherheitsgeologischer Sicht ist es unverständlich, daß in mehreren hydrogeologischen Profilen der BGR (1991: US-Nr. 0048) und des BfS (1990, US-Nr. 0026) die durch Kartier- und Bohrbefunde nachgewiesenen bis 150 m tiefen Stauchmoränenstrukturen, die dem Salzstock aufsitzen, kartographisch nicht dargestellt wurden. Somit blieben auch die real existierenden hydraulischen Verbindungen zwischen dem oberen und dem unteren Grundwasserstock bzw. zwischen der Erd- und der Salzstockoberfläche unberücksichtigt (Kap. 5.4).

8.2 Salzstock Rambow

Wie widersprüchlich und konzeptionslos bei der Endlagerforschung Gorleben vorgegangen wird, zeigt auch das neue Projekt Gorleben-Nord. 1975 war der Salzstock Gorleben nicht in die engere Wahl gekommen, weil er unter der Elbe mit dem Salzstock Rambow verbunden ist, der damals in der DDR lag und unzugänglich war. Nichtsdestotrotz wurde 1979 mit der Untersuchung des Salzstockes Gorleben begonnen (Kap. 1.2). Dabei nahmen die Endlagergremien das Sicherheitsrisiko der Unzugänglichkeit des Salzstockes Rambow und der gesamten Nordhälfte der NW-Randsenke des Salzstockes Gorleben zwischen Gorleben und Lenzen bewußt in Kauf.

Nach der Wiedervereinigung gab es erneut einen Kurswechsel. Jetzt wurde auf einmal aus dem selbstverschuldeten Forschungsnotstand eine Tugend gemacht. Hierzu die BGR (1990: 1, US-Nr. 0018):

"Die politische Veränderung der innerdeutschen Verhältnisse gibt Veranlassung, die bisherige Vorgehensweise zu überprüfen. Die Veränderungen bieten die Chance, die bisher bestehenden Lücken der Standorterkundung zu schließen. Diese Chance sollte konsequent genutzt werden".

Wie konsequent diese Chance genutzt wurde, zeigt die Gegenwart: Seit 3 Jahren steht das Projekt Gorleben-Nord nur auf dem Papier.

Die grenzbedingten Forschungsdefizite waren schon Anfang der 80er-Jahre bekannt. Hierzu DUPHORN (1984: 28):

"Hinzu kommt ein politisches Handicap, von dem auch meine eigenen Forschungsarbeiten betroffen sind: Die Nordhälfte der grenzüberschreitenden Salzstruktur Gorleben-Rambow kann nicht untersucht werden, weil sie auf DDR-Gebiet liegt. Das gleiche gilt für die Nordhälfte der

NW-Randsenke des Salzstockes Gorleben, die im Tertiär und Quartär besonders mobil war. Infolgedessen bleibt die Standorterkundung Gorleben unvollständig. Eine ganze Reihe projekt-relevanter Fragen (z.B. Fortsetzung der Gorlebener Rinne jenseits der Elbe, Salzaufstieg und Subrosion im Holozän, Grundwasser-Abstrom und Salzwasseraufstieg in der Elbe-Löcknitz-Niederung) muß dadurch offenbleiben. Dieses Manko kann auch durch vielfältige Modellrechnungen nicht ausgeglichen werden".

Nach der Wiedervereinigung räumte auch die BGR ein:

"Diese Kenntnislücken erschweren die fachgerechte Standortbeschreibung und den Nachweis der Langzeitsicherheit des Endlagers" (BGR 1990: 2, US-Nr. 0018).

9. Schlußfolgerungen und Empfehlungen

In ihrer Regierungserklärung vom 16. Mai 1979 hat die Niedersächsische Landesregierung gefordert, daß der Salzstock Gorleben nur bei einer positiven Abwägung und Beurteilung der Bohrbefunde bergmännisch untertage weitererkundet werden soll. Falls die Bohrungen negativ ausfallen sollten, Erkundung anderer Lagerstätten (VIEHL 1980).

Die vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hinsichtlich des atomrechtlichen Planfeststellungsverfahrens beim Niedersächsischen Umweltministerium eingereichten US-Berichte 0001-0061 (Stand 15.6.1993) und die früheren Berichte, auf die darin Bezug genommen wird, lassen nicht erkennen, daß in Anlehnung an die Eignungshöffigkeitsprüfungen bei der Lagerstättenerkundung auch bei der geologischen Standorterkundung Gorleben anhand konkreter geologischer Eignungshöffigkeitskriterien abgewogen wurde, ob die zeitraubende und kostspielige untertägige Weitererkundung in einem tragbaren Verhältnis zum sicherheitlichen und ökonomischen Wert der geplanten Endlagerstätte steht (Kap. 1.3). Daher ist auch die von PTB bzw. BfS seit 1983 postulierte Eignungshöffigkeit geowissenschaftlich nicht nachvollziehbar. Das gleiche gilt für die pauschale Feststellung der Bundesregierung, "daß die bisherigen Ergebnisse der Standorterkundung nicht im Widerspruch zu den Erwartungen stehen" (Umwelt 97/1983: 32). Damit hat die Bundesregierung 1983 ihre Entscheidung für die untertägige Weitererkundung des Salzstockes Gorleben und gegen die alternative Prüfung anderer Standorte begründet.

Legt man als Bewertungsmaßstab für die Beurteilung der Bohrbefunde im Rahmen einer strengen geologischen Eignungshöffigkeitsprüfung die vier Auswahlkriterien der Niedersächsischen Landesregierung von 1977 (JARITZ 1981, Bundestagsdrucksache 8/3082) und die vor Bohrbeginn gehegten Erwartungen über den strukturellen Aufbau der beiden geologischen Barrieren (Salzstock und Deckgebirge) an, dann hätte die Standorterkundung Gorleben spätestens 1984 wegen mangelnder geologischer Eignungshöffigkeit abgebrochen werden müssen.

Das Rohstoff-, das Kapazitäts- und das Subrosionskriterium der Niedersächsischen Landesregierung waren aufgrund nicht erwarteter, negativer Bohrbefunde schon vorher in Frage zu stellen (Kap. 7.1-7.3). 1984 folgte das Kriterium der geologischen Jungfräulichkeit (Kap. 7.4). Demzufolge sollte der Salzstock durch frühere Bohrungen oder bergmännische Aktivitäten möglichst unberührt sein, um unkontrollierte wasserwegsame Eingriffe in die Barriere Salzstock zu vermeiden. Dieses vierte Kriterium ist zwar formell, aber nicht in der Natur der geologischen Sache erfüllt; denn das angestrebte Schutzziel wird durch bis mindestens 92 m tief in den Salzstock eingreifende, mit elstereiszeitlichen Schmelzwassersanden verfüllte Erosionsrinnen und Laugungskolke in Frage gestellt. Der Einfluß der elstereiszeitlichen Schmelzwässer, die das Kaliflöz Staßfurt umgewandelt haben, reicht bis mindestens 170 m unter dem Salzspiegel in den Salzstock hinein (s.u.).

Im Gegensatz zum BfS (1990: 296, US-Nr. 0026) kommt die vorliegende Studie auch nicht zu der Gesamtbewertung, daß sich in der Zeit von 1983 bis 1990 "die Voraussetzungen für die Erstellung des im Planfeststellungsverfahren erforderlichen Sicherheitsnachweises wesentlich verbessert" haben. Im Gegenteil: Sie haben sich verschlechtert. Hierzu einige Beispiele:

1) Aufgrund der von der Bundesregierung angestrebten Novellierung des Atomgesetzes und der "Öffnung zur direkten Endlagerung" ist damit zu rechnen, daß das Kapazitätsproblem des Endlagersalzstockes Gorleben noch problematischer wird als es schon ist (Kap. 7.2 und 8.1).

2) Sollte entgegen meiner Empfehlung die milliardenteure untertägige Erkundung des Salzstockes Gorleben fortgesetzt werden, würden sich aus der langen Reihe der im Kapitel 8 angeführten Ermittlungs- und Bewertungsdefizite zusätzliche Nachuntersuchungen ergeben, die mit weiteren Kostensteigerungen und Terminverzögerungen verbunden wären. Der derzeitige Planrückstand für den Einlagerungsbeginn beträgt bereits 14 Jahre (Kap. 1.2).

3) Die tektonisch-seismologische Planungsgrundlage für den Bau des Endlagers im Salzstock Gorleben ist geowissenschaftlich nicht "up to date". Sie wird weder dem tektonischen Sicherheitskriterium der Reaktorsicherheitskommission noch der sicherheitstechnischen Regel des Kerntechnischen Ausschusses gerecht (Kap. 2.5, 2.6 und 8.1).

4) Im Endlager wird radioaktive Zerfallswärme freigesetzt. Die neuen Berechnungen der BGR (1991, US-Nr. 0048) ergeben hinsichtlich der Barrierefunktion des Salzstockes ungünstige Parameter der thermischen Belastbarkeit. Dies gilt vor allem für die sehr starke Hebung und für die thermisch induzierte Rißbildungszone, die innerhalb von wenigen tausend Jahren nach der Einlagerung den Salzstock bis zu einer Tiefe von 250 m unter dem Salzspiegel verletzen und seiner Barrierefunktion berauben kann (Kap. 6.2).

5) In norddeutschen Salzbergwerken wurden bis zu einer Tiefe von etwa 600 m Risse festgestellt, die als kryogene Kontraktionsrisse des eiszeitlichen Dauerfrostbodens gedeutet werden (BAUER 1991). Mit solchen fossilen Rissen ist auch im Salzstock Gorleben zu rechnen (Kap. 5.6).

6) Nach den astronomischen Berechnungen von BERGER (1988, 1990) und den neuen paläoklimatischen Bohrbefunden aus dem grönländischen Inlandeis ist die Wiederkehr von Tundraverhältnissen mit Dauerfrostboden nach Norddeutschland bereits in etwa 5000 Jahren oder noch früher nicht auszuschließen. Somit kann die von PTB/BfS für die nächsten 10.000 Jahre (das Zeitlimit der Sicherheitsanalyse) angenommene Verlässlichkeit einer klimatischen Langzeitprognose nicht bestätigt werden (Kap. 6.1)

7) Aus den elstereiszeitlichen Laugungskolken und Erosionsrinnen im oberen Teil des Salzstockes "ergaben sich keine Hinweise auf eine mögliche Gefährdung der Sicherheit des geplanten Endlagers, da 170 m unterhalb des Salzspiegels das sehr leicht lösliche Carnallitgestein offensichtlich seit seiner Bildung

vor etwa 250 Millionen Jahren nicht wieder mit größeren Anteilen von wäßrigen Lösungen in Kontakt gekommen ist und ein genügend großer Sicherheitsabstand zwischen Grubengebäude und wasserführenden Deckgebirge eingehalten werden kann" (BfS 1990: 294, US-Nr. 0026).

Diese positive Gesamtbewertung einer insgesamt etwa 25 km langen besonders subrosionsgefährdeten Schwächezone stützt sich auf 6 Bohrungen eines einzigen Bohrprofiles, das gezielt quer zum Streichen des carnallitischen Kaliflözes Staßfurt ange-setzt wurde (Abb. 32). Auch einem Nichtgeologen ist es unver-
ständlich, warum nicht auch die übrigen 24 km des leichtlös-
lichen Kaliflözes abgebohrt wurden und wie man bei so einer
sehr geringen Bohrdichte zu so einer endlagerfreundlichen Ge-
samtbewertung kommen kann. Ohne systematische Nachbohrungen
längs des Kaliflözes, besonders in der Gorlebener Rinne und
an deren Flanken, wird die Sicherheitsanalyse für das geplan-
te Endlager geowissenschaftlich nur Stückwerk bleiben und
nicht genehmigungsfähig sein.

Insgesamt lassen die verschiedenen negativen Bohrbefunde den Salzstock Gorleben für die geplante Einlagerung von radioak-
tiven Abfällen aller Kategorien als nicht eignungshöffig er-
scheinen. Sollte die untertägige Erkundung fortgesetzt werden,
sind auch bei den Nachbohrungen, die sich aus den bisherigen
Unterlassungen ergeben würden, mehr negative als positive
Bohrbefunde zu erwarten. Daher lautet meine abschließende
Empfehlung genau so wie vor 10 Jahren im Gorleben-Gutachten
für die PTB (DUPHORN 1983: 240, US-Nr. 0052):

Erkundung anderer Lagerstätten!

Kiel, den 3. September 1993

K. Duphorn
(Prof. Dr. Klaus Duphorn)

10. Literaturverzeichnis

AHORNER, L. (1989): Seismologisches Gutachten Gorleben.- Unveröff. Bericht im Auftrag der PTB. 178 S., Bensberg. US-Nr. 0013.

- MURAWSKI, H. & SCHNEIDER, G. (1970): Die Verbreitung von schadenverursachenden Erdbeben auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland.- Z. Geophys. 36: 313-343, Würzburg.

ALBRECHT, J., APPEL, D., v.RABENHORST, U.F. & KREUSCH, J, (1989): Der Nachweis der Langzeitsicherheit bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle.- 122 S., Hannover (Inst. ökol. Forsch. u. Bildung).

ALLEY, R.B. und 10 Mitarbeiter (1993): Abrupt increase in Greenland snow accumulation at the end of the Younger Dryas event.- Nature 362: 527-529, London.

ALTHEN, G.W, RUSBÜLT, J. & SEEGER, J. (1980): Ergebnisse einer regionalen Neubearbeitung des Muschelkalkes der DDR.- Z. geol. Wiss. 8, 8: 985-999, Berlin.

APPEL, D., DUPHORN, K., GIES, H., GRIMMEL, E., HERRMANN, A.G., JARITZ, W., KREUSCH, J. & VENZLAFF, H. (1985): Endlagerung radioaktiver Abfälle im Salzstock Gorleben? Geowissenschaftsausschuß des Deutschen Bundestages am 20. Juni 1984 (Auszüge aus Protokoll Nr. 31).- Werkstattreihe 16: 184 S., Freiburg (Öko-Institut).

BATSCHKE, H. & KLARR, K. (1980): Beobachtungen und Gedanken zur Gipshutgenese.- 5. Symp. on Salt. North. Ohio Geol. Soc. 1: 9-19, Cleveland.

- BAUER, G. (1991): Kryogene Klüfte in norddeutschen Salzdiapiren? - Zbl. Geol. Paläont., Tl. 1, H. 4: 1247-1261, Stuttgart.
- BAUER, G. & SESSLER, W. (1985): Das Deckgebirge über zwei norddeutschen Salzstöcken in den Wetterschächten Kolenfeld und Riedel.- Kali und Steinsalz 9, H. 4: 125-131, Essen.
- BECKER, A. (1993): An attempt to define a "neotectonic period" for central and northern Europe.- Geol. Rundschau 82: 67-83, Berlin.
- BECKER-PLATEN, J. (1981): Das Problem der Entsorgung deutscher Kernkraftwerke (Geologische Untersuchungen am Standort Gorleben).- Gemeinsame Informationsstelle zur Nuklearen Entsorgung Bund-Land, Lüchow.
- BERGEDORFER GESPRÄCHSKREIS (1992): Energiesicherheit für ganz Europa? Technische Voraussetzungen - wirtschaftliche Bedingungen - politische Aufgaben.- Protokoll-Nr. 97: 136 S., Hamburg.
- BERGER, A. (1988): Milankovitch theory and climate.- Reviews Geophysics 26: 624-657,
- GALLÉE, H., FICHEFET, Th., MARSAT, I. & TRICOT, Ch. (1990): Testing the astronomical theory with a coupled climate-ice sheet model.- Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 89: 125-141, Amsterdam.
- BESENECKER, H., KRIEGER, K.-H. & NEUSS, M. (1983): Zur Regeneration eines Aquifersystems im Bereich quartärer Stauchzonen (Höhbeck/NE-Niedersachsen).- Z. dt. geol. Ges. 134: 735-754, Hannover.

- BEUTLER, G. & SCHÜLER, R. (1978): Über altkimmerische Bewegung im Norden der DDR und ihre regionale Bedeutung (Fortschrittsbericht).- Z. geol. Wiss. 6, 4: 403-420, Berlin.
- BORNEMANN, O. mit Beitrag v. FISCHBECK, R. (1991): Zur Geologie des Salzstocks Gorleben nach den Bohrerergebnissen.- BfS Schr. 4/91: 1-66, Salzgitter. US-Nr. 0049.
- & FISCHBECK, R. (1986): Ablaugung und Hutgesteinsbildung am Salzstock Gorleben.- Z. dt. geol. Ges. 137: 71-83, Hannover.
 - FISCHBECK, R. & ZIRNGAST, M. (1989): Verkarstete Anhydritgesteine im Flankenbereich des Salzstockes Gorleben - Reste einer früh- oder präkretazischen Hutgesteinsbildung?- Nachr. dt. geol. Ges. 41: 16, Hannover.
- BRAITSCH, O. (1962): Entstehung und Stoffbestand der Salzlagertstätten.- 232 S., Berlin-Göttingen-Heidelberg (Springer).
- BROSE, F. & BRÜHL, H. (1986): Versalzungszonen des oberflächennahen Grundwassers im Raum Gorleben.- Z. dt. geol. Ges. 137: 97-104, Hannover.
- BÜLOW, W. v. (1990): Geologisches Modell und gruppierte Konditionen als Grundlage für Arbeitsschritte bei der Erkundung fester mineralischer Rohstoffe.- Z. angew. Geol. 36, 2: 68-71, Berlin.
- (1990): Zur Entstehung der altpleistozänen Rinnen im Bezirk Schwerin.- Z. geol. Wiss. 18, 10: 939-946, Berlin.
 - (1991): Präpleistozäne und Holstein-zeitliche Flußschotter im südwestlichen Mecklenburg.- Z. geol. Wiss. 19, 3: 252-260, Berlin.

BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ (1990): Fortschreibung des zusammenfassenden Zwischenberichtes über bisherige Ergebnisse der Standortuntersuchung Gorleben vom Mai 1983.- ET-2/90: 299 S., Salzgitter (BfS). US-Nr. 0026.

- (1991): Zur Geologie des Salzstockes Gorleben nach den Bohrerergebnissen.- 66 S., Salzgitter (BfS). US-Nr. 0049.
- (1992): Salzstock Gorleben - Als Endlager geeignet?- 24 S., Salzgitter (BfS).

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (1980, 1981, 1982, 1983): Zwischenberichte Hydrogeologisches Untersuchungsprogramm Gorleben, Hannover (BGR).

- (1983 b): Fachliche Stellungnahme zum Abschlußbericht von Prof. DUPHORN: "Quartärgeologische Gesamtinterpretation Gorleben", endgültige Fassung: 29 S., Hannover (BGR).
- (1985): Hydrogeologisches Untersuchungsprogramm Gorleben - KWA 5108/4.- Abschlußbericht über den Zeitraum 4/79-12/84: 102 S., Hannover (BGR).
- (1985): Georelevanter Umweltschutz. Arbeitsergebnisse, Potential, Programm.- 38 S., Hannover (BGR).
- (1987): Die Bewegung des Grundwassers im Deckgebirge über dem Salzstock Gorleben - Untersuchungen mit einem numerischen Modell.- 35 S., Hannover (BGR). US-Nr. 0003.
- (1991): Übertägige geowissenschaftliche Erkundung des Standortes Gorleben. Zusammenfassender Bericht. Stand 01.01.1990.- 369 S., Hannover (BGR). US-Nr. 0048.

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (1990): Projekt Gorleben-Nord.- 4 S., Hannover (BGR). US-Nr. 0018.

- (1990): Begrenzung und Volumen des Salzstockes Gorleben.- 8 S., Hannover (BGR). US-Nr. 0027.
- (1991): Projekt Gorleben. Biostratigraphische Untersuchung paläogener Proben des Salzstockes Gorleben anhand von Dinoflagellaten und deren geologische Interpretation.- 44 S., Hannover (BGR). US-Nr. 0039.
- (1991): Strukturgeologie der Umgebung des Salzstockes Gorleben.- 57 S., Hannover (BGR). US-Nr. 0038.
- (1992): Geologische Bearbeitung der Schächte Gorleben 1 und 2 (Deckgebirge und Hohlraumfüllungen im Hutgestein).- 12 S., Hannover (BGR). US-Nr. 0046.

BUNDESMINISTERIUM FÜR FORSCHUNG UND TECHNOLOGIE (Hrsg. 1984): Bericht von einer Informationsveranstaltung des Bundes vor dem Schachtabteufen. Salzstock Gorleben.- Entsorgung 3: 565 S., Bonn (BMFT).

CLOSS, K.D. (1990): Stand der Arbeiten zur direkten Endlagerung in der Bundesrepublik Deutschland.- KFK PAE Statusbericht, Karlsruhe.

DANMARKS GEOLOGISKE UNDERSØGELSE (1982): DGUs vurdering af ELKRAFT og ELSAMs salthorstundersøgelser. De geologiske og hydrogeologiske forholdes betydning for geologisk deponering af højaktivst affald. Udarbejdet for miljøstyrelsen.- 3 Bände, Kopenhagen (DGU).

DANSGAARD, W. und 10 Mitarbeiter (1993): Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr-ice-core record.- Nature 364: 218-220, London.

DELISLE, G. (1980): Berechnungen zur raumzeitlichen Entwicklung des Temperaturfeldes um ein Endlager für mittel- und hochaktive Abfälle in einer Salzformation.- Z. dt. geol. Ges. 131: 461-482, Hannover.

- (1991): Causes and consequences of the advance of a continental ice sheet from Scandinavia to Northern Germany.- Geol. Jb. A 127: 507-517, Hannover.

DUPHORN, K. (1976): Kommt eine neue Eiszeit?- Geol. Rundschau 65, 3: 845-864, Stuttgart.

- (1980): Kartierbericht Gorleben. Erläuterungen zur geologischen Übersichtskarte 1:25.000, zu den geologischen Spezialkarten 1:5000 und zu den Strukturkarten 1:10.000, 1:25.000, 1:50.000.- Unveröff. Bericht im Auftrag der PTB: 57 S., Kiel.
- (1983): Quartärgeologische Gesamtinterpretation Gorleben.- Abschlußbericht im Auftrag der PTB: 265 S., Kiel-Wellington/Neuseeland. US-Nr. 0052.
- (1984): Quartärgeologische Ergebnisse und Probleme bei der Endlagerforschung Gorleben.- Berichte-Reports, Geologisch-Paläontologisches Institut der Universität Kiel 6: 47 S., Kiel.
- (1986): Das subrosive Sicherheitsrisiko bei der geplanten Endlagerung von radioaktiven Abfällen im Salzstock Gorleben aus quartärgeologischer Sicht.- Z. dt. geol. Ges. 137: 105-120, Hannover.
- (1988): Geologisches Gutachten zur Schacht- und Endlagerproblematik Gorleben.- Unveröff. Bericht im Auftrag der SPD Niedersachsen: 141 S., Hannover.

- DUPHORN, K. & RICHTER, A. (1987): Die quartäre Subrosion am Endlagersalzstock Gorleben.- Eine vergleichende Betrachtung der Arbeitsmethoden, Bohrbefunde, Deutungen und sicherheitsgeologischen Bewertungen.- Meyniana 39: 41-69, Kiel.
- & SCHNEIDER, U. (1983): Zur Geologie und Morphologie des Hühbeck und der Elbe-Jeetzel-Niederung im Naturpark Elbe-Drawehn.- Abh. Naturwiss. Ver. Hamburg N.F. 25: 9-40, Hamburg.
- , KLIEWE, H., NIEDERMEYER, R.-O. & WERNER, F. (1994): Die deutsche Ostseeküste. In: Sammlung Geologischer Führer (in Vorbereitung, Gebr. Borntraeger Berlin-Stuttgart).
- EHLERS, J. (1990): Untersuchungen zur Morphodynamik der Vereisungen Norddeutschlands unter Berücksichtigung benachbarter Gebiete.- Bremer Beitr. z. Geographie u. Raumplanung 19: 166 S., Bremen.
- EHRlich, D., RÖTHEMEYER, H., STIER-FRIEDLAND, G. & THOMASKE, B. (1986): Entsorgung. Langzeitsicherheit für Sicherheitsbetrachtungen - Bewertung der Subrosion des Salzstockes Gorleben.- Atomwirtschaft XXXI, Nr. 5: 231-236, Düsseldorf.
- EISSMANN, L. (1981): Periglaziäre Prozesse und Permafroststrukturen aus sechs Kaltzeiten des Quartärs. Ein Beitrag zur Periglazialgeologie aus der Sicht des Saale-Elbe-Gebietes.- Altenburger Naturwiss. Forsch. H. 1: 171 S., Altenburg.
- EISSMANN, L. & HÄNSEL, Ch. (1991): Klimate der geologischen Vorzeit. In: HUPFER, P. (Hrsg.): Das Klimasystem der Erde, 297-342, Berlin (Akademie Verlag).
- ELLENBERG, J. (1988): Rezente vertikale Erdkrustenbewegungen als geologischer Prozeß.- Akad. Wiss. DDR, Forschungsber. Geo- u. Kosmoswiss., Diss. B: 141 S., Potsdam.

FEESER, V. (1986): Entwicklung eines Verfahrens zur Bestimmung der geologischen Vorbelastung von Tonen auf gefügekundlicher Grundlage.- Geol. Jb., Reihe C 46: 3-136, Hannover.

- (1988): On the mechanics of glaciotectionic contortion of clays.- In: CROOT, D.G. (Hrsg.): Glaciotectonics - Forms and processes: 63-76, Rotterdam (Balkema).

FICHTNER Beratende Ingenieure (1991): Untersuchung der Auswirkung unterschiedlicher Entsorgungspfade auf eine gesicherte Kernbrennstoffversorgung.- Gutachten im Auftrag des Bundesministers für Wirtschaft, Bonn.

FISCHBECK, R. & BORNEMANN, O. (1988): Genetische Überlegungen aufgrund von Brom-Bestimmungen an halitischen Kluftfüllungen in Salzgesteinen des Salzstockes Gorleben, Niedersachsen.- Fortschr. d. Mineral. 66, 1: 1-35, Stuttgart.

FLOHN, H. (1985): Das Problem der Klimaänderungen in Vergangenheit und Zukunft.- 228 S., Darmstadt (Wiss. Buchgesellschaft).

FRANKE, D. (1990): Der präpermische Untergrund der europäischen Senke. Fakten und Hypothesen.- Niedersächs. Akad. Geowiss. Veröff. 4: 19-75, Hannover.

FRENZEL, B. (Hrsg. 1991): Klimageschichtliche Probleme der letzten 130.000 Jahre.- Paläoklimaforschung 1: 451 S., Stuttgart, New York (G. Fischer).

FREY, D. (1990): Informationssuche und Informationsbewertung bei Einzel- und Gruppenentscheidungen und mögliche Auswirkungen auf Politik und Wirtschaft.- D. FREY (Hrsg.): 37. Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Psychologie in Kiel 1990, Kongreßband II: 45-56, Göttingen.

GÄDKE, K.-H. (1991): Warum die Prignitz so wenig Seen hat.-
Prignitzer Heimat 9: 28-30, Wittenberge.

GAUGER, W. (1974/75): Geschiebekundliche Beiträge zur Geologie
des Kreises Lüchow-Dannenberg.- "Hannoversches Wendland"
5. Jahresh. heimatkd. Arbeitskreis Lüchow-Dannenberg:
125-136, Lüchow.

GAST, R.E. (1988): Rifting im Rotliegenden Niedersachsens.-
Die Geowissenschaften 6, 4: 115-122, Weinheim.

GEBHARDT, U., SCHNEIDER, J. & HOFFMANN, N. (1991): Modelle
zur Stratigraphie und Beckenentwicklung im Rotliegenden
der Norddeutschen Senke.- Geol. Jb. A 127: 405-427, Hanno-
ver.

GOCHT, W. (1978): Wirtschaftsgeologie. Rohstofferschließung -
Rohstoffwirtschaft - Rohstoffpolitik.- 200 S., Berlin,
Heidelberg, New York (Springer).

GRIMMEL, E. (1980): Warum der Salzstock Gorleben-Rambow als
Atommüll-Deponie ungeeignet ist.- Z. dt. geol. Ges. 131:
487-519, Hannover.

GRÜBLER, G. (1984a): Vorkommen von Lösungen im Salzstock.-
Entsorgung 3: 147-164, Bonn (BMFT).

- (1984b): Gasvorkommen in den Schachtvorbohrungen Go 5001
und Go 5002.- Entsorgung 3: 165-181, Bonn (BMFT).

GRÜNTAL, G. (1988): Erdbebenkatalog des Territoriums der Deut-
schen Demokratischen Republik und angrenzender Gebiete von
823-1984.- Veröff. Zentralinst. f. Physik d. Erde, Nr. 99:
139 S., Potsdam.

- GUENTHER, E.W. & EICHENBERG, W. (1974/75): Über zwei neue Funde von Mammut-Backenzähnen bei der Aushebung des neuen Dümme-Beckens bei Luchau im Kreis Lüchow-Dannenberg.- "Hannoversches Wendland", 5. Jh. des heimatkdl. Arbeitskreises Lüchow-Dannenberg: 145-152, Lüchow.
- GUTDEUTSCH, R., GRÜNTAL, G. & MUSSON, R. (Hrsg. 1992): Historical earthquakes in central Europe.- Abh. geol. Bundesanstalt 48: 109 S., Wien.
- HÅKANSSON, E. (1980): Det "levende" salt.- Varv 2/1980: 35-45, Kopenhagen.
- HANTKE, R. (Hrsg. 1993): Flußgeschichte Mitteleuropas: Skizzen zu einer Erd-, Vegetations- und Klimageschichte der letzten 40 Mio. Jahre.- 459 S., Stuttgart (Enke).
- HARFF, J., EISERBECK, W., HOTH, K. & SPRINGER, J. (1990): Modellierung tiefer sedimentärer Becken zur Perspektivitätsbewertung von Erdöl und Erdgas.- Niedersächs. Akad. Geowiss. Veröff. 4: 91-95, Hannover.
- HERBERT, H.-J., BORNEMANN, O. & FISCHBECK, R. (1990): Die Isotopenzusammensetzung des Gipskristallwassers im Hutgestein des Salzstockes Gorleben - ein Nachweis für die elsterzeitliche Bildung der Hutgesteinsbrekzie.- Kali u. Steinsalz 10: 215-226, Essen.
- HERRMANN, A.G. (1983): Radioaktive Abfälle. Probleme und Verantwortung.- 256 S. Berlin-Heidelberg-New York (Springer).

HOFFMANN, N. (1990): Zur paläodynamischen Entwicklung des Präzechsteins in der Norddeutschen Senke.- Niedersächs. Akad. Geowiss. Veröff. 4: 5-18, Hannover.

HOFRICHTER, E. (1980): Probleme der Endlagerung radioaktiver Abfälle in Salzformationen.- Z. dt. geol. Ges. 131 (2): 409-430, Hannover.

HOLLMANN, A. & BRENNECKE, P. (1993): Radioaktive Abfallmengen in Deutschland 1991.- atomwirtschaft, April 1993: 276-279, Düsseldorf.

HURTIG, E. (1965): Beziehungen zwischen Oberflächenmorphologie und Salzstrukturen.- Geophys. u. Geol. 7: 42-56, Leipzig.

JARITZ, W. (1972): Eine Übersichtskarte der Tiefenlage der Salzstöcke in Nordwest-Deutschland.- Geol. Jb. 90: 241-244, Hannover.

- (1973): Zur Entstehung der Salzstrukturen Nordwestdeutschlands.- Geol. Jb. A 10: 77 S., Hannover.

- (1980): Einige Aspekte der Entwicklungsgeschichte der nordwestdeutschen Salzstöcke.- Z. dt. geol. Ges. 131: 387-408, Hannover.

- (1981): Vorkenntnisse über den Salzstock Gorleben und Gründe für die Annahme als Untersuchungsobjekt durch den Bund.- In: Entsorgung. Zwischenergebnisse zum Salzstock Gorleben: 11-19, Bonn (BMFT).

- (1983): Das Konzept der Erkundung des Salzstockes Gorleben von übertage und die Festlegung von Schachtstandorten.- N. Jb. Geol. Paläont., Abh. 1: 19-33, Stuttgart.

- JARITZ, W. (1985): Endlagerung radioaktiver Abfälle.- In: AUST, H. & BECKER-PLATEN, J.D.: Angewandte Geowissenschaften in Raumplanung und Umweltschutz: 97-101, Stuttgart (Enke).
- (1992): Fortschritte und offene Fragen zur Entstehung der Salzstrukturen NW-Deutschlands.- Niedersächs. Akad. Geowiss. Veröff. 8: 16-24, Hannover.
- , BORNEMANN, O., GIESEL, W. & VIERHUFF, H. (1986): Geoscientific Investigation of the Gorleben Site.- IAEA, Proc. of the Intern. Symp. on the Siting, Design and Construction of Underground Repositories for Radioactive Wastes, Hannover 3.-7.3.1986: 371-384, Wien.
- JENSEN, J., MÜGGE, H.-E. & SCHÖNFELD, W. (1992): Analyse der Wasserstandsentwicklung und Tidedynamik in der Deutschen Bucht.- Die Küste 53: 211-275, Heide i.H.
- KABEL, C. & SCHRÖDER, P. (1984): Geschiebe- und geröllstratigraphische Untersuchungen im Landkreis Lüchow-Dannenberg (Niedersachsen).- Verh. naturwiss. Ver. Hamburg N.F. 27: 43-74, Hamburg.
- KERN, H. (1989): Laboruntersuchungen zum thermischen und thermomechanischen Verhalten von Salzgesteinen mit H₂O-haltigen Mineralphasen des Salzstocks Gorleben. US-Nr. 0006, Kiel.
- KERN, H. & FRANKE, H.J. (1986): Carnallit-Thermisches und thermomechanisches Verhalten in Endlagersalzstöcken.- Z. dt. geol. Ges. 137: 1-27, Hannover.
- KOCKEL, F. (1989): Die Strukturen des post-saxonen Oberbaus in Nordwestdeutschland.- Nachr. dt. geol. Ges. 41: 53 S., Hannover.

- KOCKEL, F. mit Beiträgen von 6 Mitarbeitern (1990): Morphology and Genesis of Northwest-German Salt Structures.- Proc. Symp. Diapirism Iran 2: 225-247, Teheran.
- KRONBERG, P. (1979): Tektonische Auswertung von Landsat-Aufnahmen des Bereiches Gorleben und seiner Umgebung. Photologisches Gutachten auf der Basis von Satellitenaufnahmen. US-Nr. 0028, Clausthal-Zellerfeld.
- KÜHNE, F. (1958): Erdölexploration des Jahres 1957 in Westdeutschland.- Erdöl und Kohle 11: 217-228, Hamburg.
- KÜHNER, R. (1991): Einige Aspekte zu bemerkenswerten Pleistozänaufschlüssen im Tagebau Cottbus-Nord.- Z. geol. Wiss. 19, 3: 317-330, Berlin.
- KUNI, H. (1992): Niedrigstrahlung und Gesundheit der Arbeitnehmer. Expertise mit besonderer Berücksichtigung der Arbeitsbedingungen in der Anlage Schacht Konrad.- Unveröff. Bericht KWA 3309 A7 im Auftrag des DGB, 157 S., Marburg.
- KUSTER, H. & MEYER, K.-D. (1979): Glaziäre Rinnen im mittleren und nordöstlichen Niedersachsen.- Eiszeitalter und Gegenwart 29: 135-156, Hannover.
- LAMMERS, O. (1986): Quartärgeologische Kartierung auf dem östlichen Teil der Langendorfer Stauchmoräne und angrenzende Gebiete.- Unveröff. Diplomarbeit, 123 S., Univ. Kiel.
- LAUSCH, E. (1993): Klima 93.- Geo 7: 100-118, Hamburg.
- LESEMANN, B. (1969): Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetationsgeschichte des Hannoverschen Wendlands.- Flora. Abt. B 158: 480-519, Jena.

- LEYDECKER, G. (1980): Erdbeben in Nord-Deutschland.- Z. dt. geol. Ges. 131, Tl. 2: 547-555, Hannover.
- (1986): Erdbebenkatalog für die Bundesrepublik Deutschland mit Randgebieten für die Jahre 1000-1981.- Geol. Jb. E 36, H. 36: 3-83, Hannover.
- LINDERT, W., WARNCKE, D. & STUMM, M. (1990): Probleme der lithostratigraphischen Korrelation des Oberrotliegenden (Saxon) im Norden der DDR.- Z. angew. Geol. 36, 10: 368-375, Berlin.
- MEINHOLD, R. (1955/56): Ergebnisse reflexionsseismischer Messungen im Bereich der geophysikalischen Anomalien der Prignitz.- Wiss. Z. Karl-Marx-Univ. Leipzig 5: 447-455, Leipzig.
- & REINHARDT, H.-G. (1967): Halokinese im Norddeutschen Tieflande.- Ber. dt. Ges. geol. Wiss., A, Geol. Paläont. 12, 3/4: 329-353, Berlin.
- MEISSNER, R., SNYDER, D., BALLING, N. & STAROSTE, E. (Hrsg. 1992): The BABEL Project. First status report.- 155 S., Brüssel (EG).
- MEMMERT, G. (1991): Transparente und konservative Modelle zur Berechnung der Sicherheit von Endlagern radioaktiver Abfälle.- Berichte Forschungszentrum Jülich, Jül-2450: 65 S., Jülich.
- MEYER, K.-D. (1980): Quartäre Tektonik im Unterelbe-Gebiet?- Z. dt. geol. Ges. 131: 530-546, Hannover.
- MÖLLER, K.-P. (1993): Mit CO₂ leben lernen.- Bild d. Wiss. 3: 74-77, Stuttgart.

- MÖRNER, N.-A. (1990): The Swedish failure in defining an acceptable bedrock repository for nuclear waste deposition.- Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 112, 4: 375-380, Stockholm.
- MÜLLER, A. (1973): Beitrag zum Quartär des Elbegebietes zwischen Riesa und Wittenberg unter besonderer Berücksichtigung der Elbtalwanne.- Z. geol. Wiss. 1, Berlin.
- MÜLLER, E.P. (1990): Genetische Modelle der Bildung von Erdgaslagerstätten im Rotliegenden.- Niedersächs. Akad. Geowiss., Veröff. 4: 77-90, Hannover.
- MÜLLER, H. (1986): Altquartäre Sedimente im Deckgebirge des Salzstockes Gorleben.- Z. dt. geol. Ges. 137: 85-95, Hannover.
- MÜLLER, U., RÜHBERG, N. & KRIENKE, H.-D. (1993): Stand und Probleme der Pleistozänforschung in Mecklenburg-Vorpommern.- 60. Tagung AG NW-Dt. Geol., Kurzf. und Exk.-Führer: 5-20, Schwerin (GLA).
- MURAWSKI, H. (1983): Geologisches Wörterbuch.- 8. Aufl., Stuttgart.
- PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT (1983): Zusammenfassender Zwischenbericht über bisherige Ergebnisse der Standort- erkundung in Gorleben.- 153 S., Braunschweig (PTB).
- PIOTROWSKI, J. (1991): Quartär- und hydrogeologische Untersuchungen im Bereich der Bornhöveder Seenkette, Schleswig-Holstein.- Berichte-Reports, Geolog.-Paläont. Inst. Univ. Kiel 43: 194 S., Kiel.
- PLEIN, E. (1978): Rotliegend - Ablagerungen im Norddeutschen Becken.- Z.dt. geol. Ges. 129: 71-97, Hannover.

- PROJEKT SICHERHEITSSTUDIEN ENTSORGUNG - PSE (1985): Zusammenfassender Abschlußbericht, Kap. 1, Einführung und Ergebnisübersicht.- 59 S., Berlin (Hahn-Meitner-Institut für Kernforschung).
- REINHARDT, H.-G. (1967): Hinweise der Prospektionsseismik auf rezente Salzbewegung im Norden der DDR.- Geol. 16, 1: 95-100, Berlin.
- RICHTER-BERNBURG, G. (1968): Salzlagerstätten.- In: BENTZ, A. & MARTINI, H.J. (Hrsg.): Lehrbuch der Angewandten Geologie II/1, Stuttgart (Enke).
- REAKTORSICHERHEITSKOMMISSION (1983): Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk.- Bundesanzeiger 35, Nr. 2, Bonn.
- RINGBERG, B. (1989): Upper Late Weichselian lithostratigraphy in western Skåne, southernmost Sweden.- Geol. Fören. Stockholm Förhandlingar 111, 4: 319-337, Stockholm.
- RÖTHEMEYER, H. (1985): Endlagerung aus nationaler Sicht.- Diskussionsbeitrag zum BMFT-Presseseminar Entsorgung Gartow, 26.11.1985: 17 S., Braunschweig (PTB).
- RÖTHEMEYER, H., JOSHI, A.V. & VERKERK, B. (1984): Establishing Deep Geological Repositories for Radioactive Wastes with Particular Reference to Disposal in Salt Formations.- "Radioactive Waste Management" 3: 49-67, Wien (Intern. Atomic Energy Agency).
- RÜHBERG, N. (1976): Probleme der Zechsteinsalzbewegung.- Z. angew. Geol. 22, 9: 413-420, Berlin.
- SHELLNHUBER, H.-J. & STERR, H. (Hrsg. 1993): Klimaänderung und Küste. Einblick ins Treibhaus.- 400 S., Berlin-Heidelberg-New York (Springer).
- SCHNEIDER, U. (1981): Ergebnisse der quartärgeologischen Oberflächenkartierung.- In: Entsorgung. Zwischenergebnisse zum Salzstock Gorleben: 240-251, Bonn (BMFT).

- SCHRÖDER, P. (1988): Aufbau und Untergliederung des Niederterrassenkörpers der Unterelbe.- Diss. Univ. Hannover: 133 S., Hannover.
- SCHÜLER, F. (1980): Diktyogenetische Bewegungen im Buntsandstein des Nordostens der DDR.- Z. geol. Wiss. 8, 8: 1019-1028, Berlin.
- SEIBOLD, E. (1991): Das Gedächtnis des Meeres.- 447 S., München-Zürich (Piper).
- SIEBERG, A. (1940): Beiträge zum Erdbebenkatalog Deutschlands und angrenzender Gebiete für die Jahre 58-1799.- Mitt. dt. Reichserdbebendienst 2: 11 S., Berlin.
- SLOTTA, R. (1980): Technische Denkmäler in der Bundesrepublik Deutschland, 3: Die Kali- und Steinsalzindustrie.- Bochum (Dt. Bergbau-Museum).
- STÜTZER, G. (1984): Wustrow im Hannoverschen Wendland. Geschichte und Geschichten einer kleinen Stadt.- 2. Aufl., 120 S., Wustrow.
- TALBOT, Ch.J. & JACKSON, P.A. (1987): Salztektonik.- Spektrum d. Wiss. Oktober 1987: 76-86,
- TAYLOR, K.C. und 7 Mitarbeiter (1993): The flickering switch of late Pleistocene climate change.- Nature 361: 432-436, London.
- TIEDEMANN, R. & SARNTHEIN, M. (1994): Astronomic timescale for the Pliocene Atlantic $\delta^{18}\text{O}$ and dust flux records of ODP Site 659.- Paleoceanography (im Druck).

TRUSHEIM, F. (1957): Über Halokinese und ihre Bedeutung für die strukturelle Entwicklung Norddeutschlands.- Z. dt. geol. Ges. 109: 111-151, Hannover.

- (1961): Über Diskordanzen im Mittleren Buntsandstein Norddeutschlands zwischen Ems und Weser.- Erdöl-Z. 77, 9: 361-367, Wien-Hamburg.

VENZLAFF; H. (1978): Tieflagerung radioaktiver Abfälle aus geologischer Sicht.- Atomwirtschaft-Atomtechnik 23, 7/8: 335-338, Düsseldorf.

- (1979): "Der Bürger soll mit Erleichterung an die Tieflagerung denken.- Umschau i. Wiss. u. Techn. 79, 6: 172-173, Frankfurt a.M.

VIEHL, E. (1980): Standorterkundung und Anlagenplanung für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in Gorleben.- Phys. Bl. 36, Nr. 4, 90-94, Weinheim.

VIVIAN, R. (1975): Les glaciers des Alpes Occidentales.- 513 S., Grenoble (Allier).

WALTER, R. mit Beiträgen von GIESE, P., WALTHER, H.W. & DILL, H. (1992): Geologie von Mitteleuropa.- 5. Aufl.: 561 S., Stuttgart (Schweizerbart).

WELLMER, F.-W. (1985): Rechnen für Lagerstättenkundler und Rohstoffwirtschaftler. Teil 1: Berechnen, Bewerten von Lagerstätten sowie Umrechnen von Einheiten.- Clausth. tekt. Hefte 22: 193 S., Clausthal-Zellerfeld (Verlag Ellen Piller).

WILDENBORG, A.F.B., BOSCH, J.H.A., de MULDER, E.F.J., HILLEN, R., SCHOKKING, F. & van GIJSSEL, K. (1990): A review: effects of (peri-)glacial processes on the stability of rock salt.- 6. Internat. IAEG Kongreß: 2763-2770, Rotterdam (Balkema).

WOLDSTEDT, P. & DUPHORN, K. (1974): Norddeutschland und angrenzende Gebiete im Eiszeitalter.- 3. Aufl.: 500 S., Stuttgart (Koehler).

ZIEGLER, P.A. (1990): Geological Atlas of Western and Central Europe.- 2. Aufl.: 239 S., Den Haag (Shell), Avon (Geol. Soc. Publ.).

ZIRNGAST, M. (1991): Die Entwicklungsgeschichte des Salzstockes Gorleben. Ergebnis einer strukturgeologischen Bearbeitung.- Geol. Jb. A 132: 31 S., Hannover.