

BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT

Bonn, 17. Mai 1995

Gesch.-Z.: III B 3 - 44 64 25
(Bei Antwort bitte angeben)

Telefon: (02 28) 6 15-38 86
Fax: (02 28) 6 15-34 56

Bundesministerium für Wirtschaft • 53107 Bonn

Bundesministerium für Umwelt, Natur-
schutz und Reaktorsicherheit
Referat RS III 6
Herrn Ministerialrat Dr. Bloser
Husarenstraße 30

53175 Bonn

Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit	
Abt.: RS	Referat: III 6
Eing.: 17. MAI 1995	
Az.: 1570013	

Handwritten notes:
 ist mind. durch
 Min-Vorg. erfolgt
 GG
 Bitte kein Kennen-
 läufer u. R. unter-
 nehmen!
 : 17. 19. 95
 RS III 6 - 15700/1
 822615

Betr.: Ersatzstandorte für die Endlagerung stark wärmeentwickelnder Abfälle

Beigefügt übersende ich Ihnen jeweils zehn Exemplare der Berichte „Untersuchung und Bewertung von Ersatzstandorten für die Endlagerung stark wärmeentwickelnder Abfälle in Salzformationen der alten und neuen Bundesländer“ sowie „Standortmöglichkeiten zur Endlagerung stark wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in nichtsalinaren Formationen Deutschlands“. Die Übersendung der Entwürfe zur Vorbereitung unseres Gespräches am 31. Mai 1995 war zwischen Herrn Ministerialdirektor Hennenhöfer und Herrn Ministerialrat Beschorner vereinbart worden.

Im Auftrag

Dr. Mager

Postanschrift:
Bundesministerium für Wirtschaft
53107 Bonn

Hausanschrift:
Bundesministerium für Wirtschaft
Villemombler Straße 76
53123 Bonn

Fernsprechvermittlung: (02 28) 6 15-0
Telefax-Nr.: (02 28) 6 15-44 36
Telex-Nr.: 886747

VS NUR FÜR DEN DIENSTGEBRAUCH

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE

Untersuchung und Bewertung von Ersatzstandorten für die Endlagerung stark wärmeentwickelnder Abfälle in Salzformationen der alten und neuen Bundesländer

**Arbeitspaket Nr. 9y 2435 100 000
und 9y 2344 100 000**

Unveröffentlichter Bericht

Projektleitung: Dr. F. Kockel, Dr. P. Krull

**Teil 1
Auswahlkriterien, Datenbasis, Methodik, Bewertung**

Sachbearbeiter:

Auftraggeber:

Datum:

Archiv-Nr. Hannover:

Archiv Nr. Berlin:

Tagebuch-Nr.:

Anlagen:

Abbildungen

Tabellen

Bundesministerium
für Umwelt, Natur-
schutz und Reaktor-
sicherheit

April 1994

111 089

2025041

4

5

15

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Auftrag	5
2 Rahmenbedingungen für die Errichtung von Endlagern wärmeentwickelnder Abfälle in Salinarstrukturen	7
2.1 Bemerkungen zu den Auswahlkriterien	10
2.1.1 Klassifizierung der Strukturtypen	10
2.1.2 Sockeltektonik und Tiefenlage der Zechsteinbasis	10
2.1.3 Alter der Salinargesteine	11
2.1.4 Strukturgröße und Morphologie	11
2.1.5 Caprock und Tiefenlage der Zechsteinoberfläche	12
2.1.6 Salzspiegel und Subrosion	12
2.1.7 Innentektonik der Salzstrukturen	13
2.1.8 Flächenbedarf in den Salzstrukturen für die Errichtung eines Endlagerbergwerkes	14
2.1.9 Temperaturfeld in Norddeutschland	15
2.1.10 Erdbebengefährdung	16
2.1.11 Quartäre Rinnen und Permafrost-Problematik	17
2.1.12 Hydrogeologische Gliederung des Aquifersystems im Deckgebirge	18
2.1.13 Konkurrierende Nutzung	19
3 Das Datenmaterial	20
3.1 Das Datenmaterial in Nordwestdeutschland	20
3.2 Das Datenmaterial in Ostdeutschland	21
4 Technische Durchführung der Kartierung	22
4.1 Methodik, Geschwindigkeitsmodell	22
4.2 Durchführung und Darstellung	24
4.2.1 Nordwestdeutschland	24
4.2.2 Ostdeutschland	24
5 Die salinaren Gesteine in Norddeutschland	28
6 Grundzüge des Baues Norddeutschlands und sein Bezug zu den Salinarstrukturen	30
7 Beurteilung der Untersuchungswürdigkeit der Salzstrukturen	32
7.1 Geologisch-strukturelle Kriterien	32
7.1.1 Volumetrische Kriterien	32
7.1.2 Kriterien, die auf das Vorhandensein möglichst ungestörter Steinsalzvolumina hinweisen	33
7.1.3 Stoffliche Kriterien des Wirtsgesteins	34
7.1.4 Bewertung der Barrierefunktion des Deckgebirges	35
7.1.5 Strukturelle Komplikationen im Dachbereich	

7.2 Anthropogene Kriterien	35
7.2.1 Nutzung des potentiellen Wirtskörpers oder seines Umfeldes als Rohstoffquelle	35
7.2.2 Nutzung der Erdoberfläche über der Struktur	36
7.2.3 Politische Kriterien	36
8 Die Anwendung der Kriterien auf die untersuchten Strukturen	37
8.1 Klassifizierung nach volumetrischen Kriterien	37
8.2 Klassifizierung nach potentiell großen und möglichst ungestörten Salzvolumina	37
8.3 Klassifizierung nach Alter und Ausbildung der aufbauenden Salinare	37
8.4 Klassifizierung nach den Barriere-Funktionen des Deckgebirges	38
8.5 Klassifizierung nach strukturellen Komplikationen im Dachbereich	38
8.6 Anderweitige Nutzung des Wirtskörpers oder seines Umfeldes	39
8.7 Klassifizierung nach Oberflächennutzung	39
8.8 Klassifizierung nach Bundesländern	39
9 Schlußfolgerungen	40
10 Schriftenverzeichnis	43

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1	Wärmeleitung in Salzstrukturen am Beispiel der Strukturen Peckensen - Groß-Gerstedt - Lüge - Liesten (nach GLÄSER 1983)
Abbildung 2	Die Erdbeben-Epizentren im Zeitraum 1000-1989 in der Bundesrepublik Deutschland (LEYDECKER 1994)
Abbildung 3	Die Epizentren der bekannten Schadenbeben (Intensität >6-7) im Zeitraum 1000-1993 in der Bundesrepublik Deutschland (LEYDECKER 1994)
Abbildung 4	Vergleich der geologischen Interpretation reflexionsseismischer Profile aus den Jahren 1969 (dreifache Überdeckung) und 1989/90 (3D, migriert). Struktur TAAKEN, TK 25: 2821, C 3118
Abbildung 5	Filtercharakteristik für Lokalfeldberechnungen der Bouguer-Schwere

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1	Temperatur-Tiefenfunktion T(z) für Ostdeutschland
Tabelle 2	Bezeichnung, Zuordnung und Korrelierbarkeit der Reflexionshorizonte in Ostdeutschland
Tabelle 3	Salzstrukturen, geordnet nach der Höhe der Kulmination

Tabelle 4	Salzstrukturen, geordnet nach der Größe der Dachfläche
Tabelle 5	Salzstrukturen, geordnet nach der Größe der nutzbaren Fläche in ca. 700 m Tiefe
Tabelle 6	Salzstrukturen, geordnet nach möglichen Komplikationen im Innenbau
Tabelle 7	Salzstrukturen, geordnet nach der stratigraphischen Einstufung ihrer Salinare
Tabelle 8	Salzstrukturen, geordnet nach der Qualität der geologischen Barrieren
Tabelle 9	Salzstrukturen, geordnet nach Komplikationen in den Decksedimenten
Tabelle 10	Salzstrukturen, geordnet nach der untertägigen Nutzung
Tabelle 11	Salzstrukturen, geordnet nach konkurrierender Oberflächennutzung
Tabelle 12	Salzstrukturen, geordnet nach Bundesländern
Tabelle 13	Salzstrukturen, nach Namen geordnet
Tabelle 14	Auszug aus dem Erdbebenkatalog für die Bundesrepublik Deutschland mit Randgebieten für die Jahre 1000-1989 (52o N - 55o N und 6o E - 14o E)
Tabelle 15	Erläuterungen zum Erdbebenkatalog

Verzeichnis der Anlagen

Anlage 1.1	Übersicht über die insgesamt 40 neu untersuchten Salzstrukturen in den alten und den neuen Bundesländern
Anlage 1.2	Schollengliederung des Sockels in Nordwestdeutschland 1:500 000
Anlage 1.3 W	Temperaturverteilung für Nordwestdeutschland in 1000 m Tiefe unter Gelände. - R. SCHELLSCHMIDT, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung /Geologische Gemeinschaftsaufgaben, Hannover 1994
Anlage 1.3 E	Temperaturen in Nordostdeutschland in einer Tiefe von 1000 m u. NN (nach GLÄSER, 1983)

1 Auftrag

Mit Erlaß vom 02.04.1992 (Ergebnisvermerk des Gespräches zwischen BMFT, BMWi, BGR und BMU RS III 6 - 15700/3) beauftragte der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, in einer zweiten und dritten Phase bis zum Ende der Legislaturperiode (09.94) eine erste Rangfolge untersuchungswürdiger Standorte in salinaren und nichtsalinaren Formationen auf dem Gebiet der alten und neuen Bundesländer vorzulegen.

Bezogen auf die salinaren Formationen sollten in den alten Bundesländern die in den Studien "Bewertung von Salzformationen außerhalb Niedersachsens zur Errichtung von Endlagern" (BEST et al. 1982, BGR-Archiv-Nr. 92 433) und "Eignung von Salzstöcken in Niedersachsen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle" (JARITZ 1983, BGR-Archiv-Nr.94 770) als interessant und weiter untersuchungswürdig ausgewiesenen 28 Salinarstrukturen (16 Salzstöcke in Niedersachsen, 6 Salzstöcke in Schleswig-Holstein und 6 Münders-Mergel-Salinare, siehe Anl. 1.1) auf der Basis vorhandenen Datenmaterials nochmals untersucht und ihre Eignung als potentielle Depo-standorte neu bewertet werden.

Als Voraussetzungen wurden festgelegt:

- Berücksichtigung der o.a. Studien aus den Jahren 1982 und 1983
- Berücksichtigung der seit 1983 neu hinzugewonnenen Basiserkenntnisse (Seismik, Bohrungen) durch die Aktivitäten der deutschen Erdölindustrie
- Berücksichtigung der Ergebnisse des "Geotektonischen Atlas von Nordwestdeutschland" (1985) (Endbericht, BGR-Archiv-Nr. 98 866)

In den neuen Bundesländern stellte sich, da detaillierte Voruntersuchungen nicht vorlagen, die Aufgabe etwas anders. Hier sollten die 1991 in einer 1. Bearbeitungsphase mit der Studie von KRULL: "Bewertung der Salzformationen der Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen-Anhalt und Thüringen für die Errichtung von Endlagern wärmeentwickelnder Abfälle" (KRULL, 1991, BGR/ABerlin-Archiv-Nr. 20 24 209) begonnenen Arbeiten in einer 2. Bearbeitungsphase fortgesetzt werden. Darin sollte das vorhandene Datenmaterial über die in der ersten Studie von November 1991 in "Kategorie 1" eingestuften 6 voraussichtlich am untersuchungswürdigsten Standorte gesammelt und ausgewertet, sowie für die in "Kategorie 2" genannten 6 Standorte die eignungs-mindernden Parameter überprüft und weiter konkretisiert werden.

Für die alten und neuen Bundesländer sollte schließlich eine Rangfolge der als am untersuchungswürdigsten eingestuften Standorte nach den vorgegebenen Rahmenbedingungen herausgearbeitet werden.

Dieser Auftrag wurde später vom BMU modifiziert. Auf die Ausarbeitung einer Rangfolge sollte verzichtet werden, da allein geowissenschaftliche Kriterien für die Aufstellung einer Rangfolge nicht ausschlaggebend sind.

In den alten Bundesländern waren folgende Arbeitsschritte vorzunehmen:

- Überprüfung und gegebenenfalls Präzisierung des Kriterienkataloges für die Auswahl potentieller Endlagerstandorte in Salinar-Formationen
- Auswertung aller im "Geotektonischen Atlas von Nordwestdeutschland" interpretierten Daten für die Darstellung der Salinarstrukturen
- Ergänzende bzw. revidierende strukturelle Darstellung der ausgewählten Salinarstrukturen und deren Umfeld durch neue, nach 1983 gewonnene strukturelle Daten (Seismik, Bohrungen)
- Einzelbeschreibung der in den o.a. Berichten aufgeführten 28 als "untersuchungswürdig" angesehenen Strukturen anhand von Kartendarstellungen der Dachregion im Maßstab 1:50 000 und des Umfeldes im Maßstab 1:100 000, sowie anhand von Schnitten durch die Salzkörper im Maßstab 1:50 000. Revision und Überprüfung der Angaben über Ausdehnung, Volumen, Morphologie, Innenbau, Deckschichten und Flankenbereiche, quartäre Rinnen, konkurrierende Nutzung und Risiko-Abschätzung
- Abgleichung des Untersuchungstiefganges mit der für die neuen Bundesländer geplanten Studie
- Erstellung einer Prioritätenliste von potentiellen Standorten in Nordwestdeutschland

In den neuen Bundesländern waren unter den anderen Voraussetzungen folgende Schritte vorzunehmen:

- Beschaffung der notwendigen Hard- und Software für die Interpretation der Reflexionsseismik in Berlin
- Beschaffung der Basis-Daten (Bohrungen, seismische Sektionen, Geschwindigkeitsdaten) bei den Geologischen Landesämtern sowie den Erdöl/Erdgas- und Geophysikunternehmen
- Schaffung einer einheitlichen digitalen Datenbasis (Bohrungen und Seismik) aus dem komplexen Archivmaterial in Form von Datenspeichern für stratigraphische Bohrungsdaten, Geophon-Versenkmessungen und im Ergebnis der gesamten Arbeiten für struktureologische Flächendaten
- Einarbeitung in die komplizierte Software und erste Darstellungsversuche an einer ausgewählten Struktur (siehe Zwischenbericht KRULL, Juni 1993)
- Kartierung der ausgewählten Strukturen der Kategorie 1 und deren Umfeld (Randsenken und Nachbarstrukturen) anhand von Tiefenlinienplänen
- Einzelbeschreibung der 6 als "untersuchungswürdig" angesehenen Strukturen anhand von Kartendarstellungen ihres Umfeldes im Maßstab 1:100 000, sowie Schnitten durch die Salzkörper im Maßstab 1:50 000. Angaben über Ausdehnung, Volumen, Morpholo-

gie, Innenbau, Deckschichten und Flankenbereiche, quartäre Rinnen, konkurrierende Nutzung und Risiko-Abschätzung

- Konkretisierung der eignungsmindernden Parameter für die 6 in Kategorie 2 eingestufteten Salzstrukturen

Im Zuge der Bearbeitung der Strukturen der Kategorie 1 wurden die Salzstöcke Wredenhagen, Zechlin und Waddekath zusätzlich in die Detailuntersuchungen einbezogen. Dagegen wurde auf eine Spezialuntersuchung des Salzstockes Jarstedt verzichtet, da er aufgrund der Tiefenlage seiner Caprock-Oberfläche für die Errichtung eines Endlagerbergwerkes von vornherein ungeeignet ist.

2 Rahmenbedingungen für die Errichtung von Endlagern wärmeentwickelnder Abfälle in Salinarstrukturen

Um Vergleiche bei der Bewertung zu ermöglichen, wurde vorgegeben, die Auswahlkriterien eng an die anzulehnen, die in den Berichten BEST et al. (1982) (BGR-Archiv-Nr. 92 433), und JARITZ (1983) (BGR-Archiv-Nr. 94 770) definiert und auch im Bericht KRULL (1991) (BGR-Berlin-Archiv-Nr. 20 24 209) aufgegriffen wurden. Sie lauten für Salzstöcke und andere Salzstrukturen:

- Die zu untersuchenden Strukturen sollten nur in Niedersachsen, Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Sachsen-Anhalt liegen. Stratiforme Lager in Hessen, Baden-Württemberg, Thüringen und Nordrhein-Westfalen waren ebensowenig zu berücksichtigen wie die Salzstrukturen im deutschen Festlandsockel der Nord- und Ostsee
- Schwerpunkt "wärmeentwickelnde Abfälle"
- Zechsteinsalze
- Bergwerkskonzept bei Beachtung von:
 - a) Begrenzung auf eine max. Gebirgstemperatur von ca. 50 °C, d.h. einer Maximaltiefe von ca. 1000 m
 - b) Festen von 200 m im Flankenbereich, Salz-Schwebe von 300 m Mächtigkeit. Die Mindestschwebe von 300 m bedeutet bei einer maximalen Endlagertiefe von 1000 m und einer Mindestmächtigkeit der Deckschichten über dem Dach des Salzstockes, daß die Salzstockoberfläche nicht tiefer als 500 m unter Gelände liegen darf, weil sonst nur eine nutzbare Salzhöhe für das Endlagerbergwerk von <200 m übrig bleibt
 - c) Minimales Volumen der Endlagerungsbereiche von ca. $20 \times 10^8 \text{ m}^3$ (= 2,0 km³), innerhalb dessen ein Bergwerk zu errichten ist. Extrem schmale Salzrücken sind aufgrund des sehr kleinen Querschnitts gesondert zu betrachten.

- Die Deckgebirgsmächtigkeit über dem Salzstockdach sollten mindestens 200 m betragen, keine tiefgreifenden quartären Ausräumungszonen aufweisen und wasserstauende Horizonte enthalten
- Deckgebirge und Sockel sollten möglichst ungestört sein
- Die Struktur und ihr Umfeld sollten in einem erdbeben-inaktiven Gebiet liegen
- Konkurrierende Nutzung der Struktur und ihres näheren Umfeldes sollten berücksichtigt werden

In der Studie sollten für die Bewertung auch folgende Punkte bearbeitet werden:

- Seismizität (Entfernung zu Lokalisationen letzter historischer Beben)
- Ressourcen (z.B. Öl, Gas, Kreidevorkommen, Frischwasser)
- sonstige Nutzung (Schachtanlagen, Kavernen, geothermische Nutzung, balneologische Nutzung, Trinkwasserschutzgebiete, Natur/Landschaftsschutzgebiete, größere Verkehrsanlagen)
- eventuelle Einschränkungen (militärische Anlagen oder kerntechnische Anlagen z.B. sind nicht zu werten)

Die Vorauswahlgesichtspunkte bedeuten eine Festlegung auf das Bergwerkskonzept. Dieses hat gegenüber anderen Endlagerstrategien den Vorteil, daß es das einzige, als "Stand der Technik" zu bezeichnende Konzept ist. Dies gilt für die in den vorangegangenen Studien schwerpunktmäßig betrachteten "nichtwärmeentwickelnden" Abfallstoffe ebenso wie für die hier besonders berücksichtigten "wärmeentwickelnden" Abfälle.

Um diesen Vorauswahlkriterien zu entsprechen, wurde bei der Neubearbeitung auf die möglichst vollständige Erfassung folgender geologischer und nicht-geologischer Parameter besonderes Gewicht gelegt:

- Aussagen über den **Strukturtyp** (Diapir: d.h. primäres sedimentäres Dach durchbrochen, Salzmauer oder Teil einer solchen, Salzkissen: d.h. primäres sedimentäres Dach nicht durchbrochen oder andere Strukturtypen, z.B. stratiformes Lager, salzgefüllte Störung, salinarbeeinflusste Inversionsstruktur etc.)
- Aussagen über die **regionale tektonische Position**
- Aussagen über die **Strukturierung** des prä-salinaren **Sockels** (Tiefenlage, Zerblockung, Störungen etc.)
- Aussagen über die **strukturellen Verbindungen** zu Nachbar-Strukturen (z.B. über eine Inversionsstruktur, über eine tief liegende Kissenbrücke, über eine Sockelfuge im prä-salinaren Untergrund etc.)

- Aussagen über die am Strukturaufbau *beteiligten Salinare* (z.B. Zechstein-Salinare, Rotliegend-Salinare, Keuper-Salinare oder Oberjura-Salinare)
- Aussagen über die *Form und maximale Ausdehnung* sowie die *Vertikalerstreckung* des Salzkörpers
- Aussagen über die *maximale Flächenausdehnung des Dachbereiches* in km²
- Aussagen über die *Kulmination* der Dachfläche, über die *Dachmorphologie*, über das Vorhandensein von *Scheitelstörungen* oder *Scheitelgräben* sowie über *quartäre Rinnen* oder *Subrosionssenken* im Dachbereich
- Aussagen über die *verfügbare Fläche im Horizontalschnitt* bei 300 m unter Kulmination und bei 1000 m unter Gelände
- Aussagen über *Stratigraphie und Mächtigkeiten* der die Dachfläche *überlagernden Sedimente* (die Lithologie der Decksedimente entspricht dabei den allgemeinen, bekannten Faziesentwicklungen in Norddeutschland)
- Aussagen über *Lithologie und Mächtigkeiten des Caprock*
- Aussagen über die *Innentektonik*, soweit bekannt
- Aussagen über die *Form und Entwicklung der Flankenbereiche* des Salzkörpers (z.B. das Vorhandensein von Überhängen und ihre Ausdehnung, von Kissenfüßen oder Salzkeilen bzw. Salzintrusionen in Salinarhorizonte des Nebengebirges)
- Aussagen über *Alter und Ausformung der* primären und sekundären sowie nachschubbedingten *Randsenken* (nach TRUSHEIM 1957)
- Aussagen über den zeitlichen *Beginn der Kissenbildung* sowie *des diapirischen Durchbruchs*
- Aussagen über den zeitlichen *Ablauf der Strukturgenese* auf der Basis von beobachteten morphologischen Ist-Daten, von Mächtigkeitsanalysen im Nebengebirge, der Überdeckung und der Abschätzung der quantitativen Auswirkungen von Abtragungsperioden etc.
- Auflistung aller *Bohrungen* im Strukturbereich und in der unmittelbaren Nachbarschaft sowie aller *Schächte, Grubengebäude, Kavernen* oder *Tagebaue*
- Aussagen über *konkurrierende Nutzung* (d.h. vor allem Nutzung von Lagerstätten oder Anlage von Deponien bzw. Kavernen etc., balneologische Nutzung)
- Aussagen über das *regionale Temperaturfeld* im Strukturbereich in einem Tiefenschnitt von 1000 m u. NN
- Aussagen über die *potentielle Erdbebengefährdung*

- Möglichst vollständige Erfassung und Auswertung von *Veröffentlichungen* und *unveröffentlichter Berichte*, die sich mit der Untersuchung und Beschreibung der Einzelstrukturen befaßt haben

2.1 Bemerkungen zu den Auswahlgesichtspunkten

2.1.1 Klassifizierung der Strukturtypen

In die Betrachtung sind fast ausschließlich Salzstöcke oder Abschnitte von Salzmauern einbezogen worden, weil die Dachregionen der meisten Salzkissen zu tief liegen. Die flachen Salzlager und Salzkissen aus Oberjurasalinaren im westlichen Niedersachsenbecken stellen einen Sonderfall dar.

2.1.2 Sockeltektonik und Tiefenlage der Zechsteinbasis

Als Sockel wird hier das Liegende der Salinarstruktur bezeichnet, dessen Oberfläche mit der Oberfläche des "nicht-chloridischen Zechstein", d.h. dem Kupferschiefer-Flöz, Werra-Karbonat, Werra-Anhydrit, Staßfurt-Karbonat und Staßfurt-Anhydrit (insgesamt allgemein ca. 50 m) identisch ist. Dieses Gesteinspaket stellt einen sehr guten seismischen Reflektor dar, der beckenweit verfolgt werden kann. Allerdings ist dieser Reflektor oft unmittelbar unter den Strukturen nicht sichtbar und kann nur dann genau rekonstruiert werden, wenn reflexionsseismische Spezialuntersuchungen (Salzstock- bzw. Salzstockflanken-Unterschießungen) vorgenommen wurden, was selten der Fall ist.

Bislang wurde das Vorhandensein von Störungen im subsalinaren Sockel unterhalb der Salzstruktur wegen der potentiell erhöhten Erdbebengefahr als Negativkriterium angesehen. Durch die neuen Untersuchungen hat sich gezeigt, daß es kaum eine Salzstruktur gibt, die nicht von einer Sockelstörung unterlagert ist (siehe auch Kap. 6). An diesen Störungen vollzogen sich wiederholt Bewegungsvorgänge im Laufe des Mesozoikum und Tertiär, deren genaue Datierung nicht immer möglich ist.

Es ist sehr wahrscheinlich, daß die Bewegungen an den Sockelfugen die halokinetischen, autonomen Salzaufstiegsbewegungen initiierten. Auf keinen Fall sollte man Störungen im präsalinaren Untergrund ohne konkrete Belege in das postsalinare Stockwerk projizieren oder umgekehrt, von Scheitelstörungen im Dachbereich von Diapiren auf Sockelstörungen schließen. In vielen Fällen hat man beobachtet, daß die Sockelstörungen sich in den sedimentären Oberbau nicht durchpausen, sondern die Bewegungen an ihnen durch das Salz abgepuffert werden. Allerdings sind besonders in Nordwestdeutschland zahlreiche Strukturen bekannt geworden, die asymmetrisch gebaut sind. Als Ursache werden unterschiedlicher Bewegungen der Sockelschollen unter dem Diapir angenommen. Dies ist vor allen bei solchen Strukturen zu beobachten, die bedeutenden, mehrfach bewegten Lineamenten aufsitzen. Besonders in der Nordsee, aber auch auf dem Festland, könnten nach dem Mittelmiozän entstandene Scheitelgräben im Dach der Strukturen darauf hinweisen, daß möglicherweise noch jungtertiäre Bewegungen an den Sockelfugen stattfanden.

Häufig aber sind Scheitelstörungen lediglich halokinetisch bedingt. Infolge der Salzaufstiegsbewegungen ist das Deckgebirge einer Dehnungsbeanspruchung unterworfen. Dabei entstehen

Bruchstrukturen (überwiegend Abschiebungen und Grabenbildungen) im Postsalinar auch ohne Störungsvorzeichnung im Subsalinar. Voraussetzung ist, daß der Salznachschub nicht durch Ablaugung am Salzspiegel kompensiert wird.

Würde man den Nachweis neogener Sockelbewegungen als entscheidendes Negativ-Kriterium ansehen, würden sehr viele untersuchten Strukturen als ungeeignet aus der Betrachtung herausfallen. Daß jedoch gegenwärtig Bewegungen an diesen Störungen nicht auftreten, zeigt die Karte der historisch belegten Beben in Nordwestdeutschland (Tab. 13 und 14). Die historisch belegten Beben sind den bekannten Sockelstörungen im allgemeinen nicht zuzuordnen.

Salzstrukturen, die mehrfach bewegten großen Lineamenten aufsitzen, treten in der nordostdeutschen Salzstock-Provinz weit weniger häufig als in der nordwestdeutschen auf.

Es gilt in jedem Einzelfall zu prüfen, welche Bedeutung den beobachteten Sockelstörungen beizumessen ist. In keinem Fall sollten sie aber unter Berücksichtigung der Pufferwirkung der Salinargesteine und dem schnellen Verheilen von Rissen und Spalten im Salz, in ihrer Bedeutung als Gefahrenpotential überbewertet werden.

2.1.3 Das Alter der Salinargesteine

Die in den Vorläuferstudien genannten Beschränkungen auf die Zechsteinsalze werden in der vorliegenden Bewertung nicht durchgehalten. Ein Teil der untersuchten Salzstöcke in Schleswig-Holstein und Niedersachsen werden sowohl von Zechstein- als auch von Rotliegendesalinen aufgebaut. Auf eine Betrachtung der Doppelsalinar-Strukturen kann also nicht verzichtet werden. Auch die stratiformen Salinare des Oberjura werden in die Betrachtung einbezogen, da sie u.U. interessante Möglichkeiten bieten können. Nicht näher untersucht wurden hingegen Salzakkumulationen (stratiforme und kissenförmige Salzvorkommen) von Keupersalzen. Diese stellen jedoch, wenngleich recht tief lagernd, ein interessantes Potential dar, das in jedem Falle eine nähere Untersuchung wert ist.

Allerdings tritt bei der Berücksichtigung von Nicht-Zechstein-Salinen ein erhöhter, bislang noch kaum überschaubarer Forschungsbedarf auf, da die petrophysikalischen Eigenschaften dieser Salinare (Fließverhalten, Standfestigkeit, Wärmeleitfähigkeit, Dichtigkeit etc.) nicht im gleichen Umfang wie die der Zechsteinsalze untersucht worden sind.

2.1.4 Strukturgröße und Morphologie

In den alten Bundesländern sind alle in die Studien einbezogenen Strukturen hinreichend durch digitale reflexionsseismische Sektionen überdeckt und in vielen Fällen auch durch Bohrungen erkundet, sodaß die Darstellung der äußeren Morphologie im vorgegebenen Maßstab als ziemlich gesichert bezeichnet werden kann.

In den neuen Bundesländern hat der geologisch-geophysikalische Erkundungsgrad ebenfalls einen hohen Stand erreicht, die Kenntnisse über Form und Größe der Salinarstrukturen sind aber insgesamt heterogen, begründet durch die stark variierende Untersuchungsdichte und -qualität. Seit 1972 steht auch in den neuen Bundesländern moderne, digital registrierte Seismik zur Verfü-

gung, die allerdings vornehmlich auf die Erforschung des prä-Zechstein-Stockwerkes angesetzt war, da das mesozoische Erkundungsprogramm bereits eingestellt worden war. Für die Untersuchung der steilen Salzstockflanken liefert die Seismik deshalb z.T. nur unbefriedigende Ergebnisse. Dies wird in den Einzelbeschreibungen der Strukturen berücksichtigt, unter Hinweis auf Kenntnislücken und Untersuchungsdefizite. Anders als in den alten Bundesländern wurden zusätzlich in jedem Einzelfall die Ergebnisse der hier sehr viel dichteren und genaueren gravimetrischen Vermessung zugezogen, um Aussagen über die Morphologie der Strukturen und ihres Deckgebirges zu erhalten.

2.1.5 Caprock und Tiefenlage der Zechsteinoberfläche

Als "Caprock" oder "Hutgestein" werden die oberen Teile der diskonformen (durchbrochenen) Salzstrukturen bezeichnet, die durch Salzablaugung und chemische Umwandlungsprozesse entstanden sind. Der Caprock besteht im allgemeinen aus porösen, z.T. verkarsteten und wassererfüllten Residualgipsen und Anhydriten mit Beimengungen von Tonen. Seine Mächtigkeit schwankt zwischen 0 m und mehreren 100 m. Die Oberfläche kann ein stark gegliedertes Relief aufweisen, je nach der Löslichkeit des zur Ablaugung zur Verfügung stehenden Ausgangsgesteins. Die Tiefenlage der Caprock-Oberfläche, die hier als Salzstock-Oberfläche bezeichnet wird, kann in der Regel recht genau aus den seismischen Profilen abgelesen werden. Im allgemeinen haben über den Salzstrukturen angesetzte Bohrungen auch die Oberfläche des Caprock erreicht.

Wesentlich weniger genau kann der "Salzspiegel" festgestellt werden, d.h. die von der Ablaugung nicht betroffene Fläche unter dem Caprock. Dieser ist nur in Bohrungen nachweisbar und geophysikalisch nicht zu orten (siehe auch Kap. 2.1.6). Gleichwohl ist der Salzspiegel die wichtigste Referenzfläche, von der ab gegen die Tiefe technische Parameter wie vertikale Schwebelage und Tiefenlage des Endlagerbergwerks berechnet werden sollte. Wenn hier trotzdem auf die Salzstockoberfläche Bezug genommen wird, dann deshalb, weil diese Fläche bei allen Strukturen relativ genau bekannt ist.

Für die Strukturen in den alten Bundesländern wird die Tiefenlage der Salzstock-Oberfläche jeweils in einem gesonderten Isobathenplan ausgewiesen. Für die Strukturen in den neuen Bundesländern ist ein Isobathenplan "Zechsteinoberfläche" entworfen worden, aus dem gleichzeitig die Amplitude der Struktur, d.h. die Tiefendifferenz zwischen Zechsteinoberfläche im Strukturumfeld und der Kulmination im Dachbereich ersichtlich wird.

2.1.6 Salzspiegel und Subrosion

Die Subrosion (Aus- und Abbauprozesse) eines Salzkörpers setzt ein, sobald die Salzgesteine mit dem Grundwasser in Berührung kommen. Die subterranean Auflösungsprozesse greifen je nach hydrodynamischen Gegebenheiten in unterschiedliche Tiefen hinab. Die dabei erzeugte Subrosionsunterfläche des Salzkörpers wird bei horizontaler Lagerung als "**Salzspiegel**", bei geneigter Lagerung als "**Salzhang**" bezeichnet. Salzspiegel mit regionaler Ausdehnung treten im Untersuchungsgebiet nicht auf. Lokale Salzspiegel sind an die Salzstockdächer gebunden. Sie liegen als Flächen mit geringem Relief in der Regel unterhalb des Hutgesteins ("**Caprock**") und nur

dort, wo dieses erodiert wurde, besteht ein unmittelbarer Kontakt zum sedimentären Deckgebirge.

Bei abnehmender Grundwasserzirkulation bildet sich ein Gleichgewichtszustand der Auslaugung heraus, der bewirkt, daß sich über der Salzspiegeloberfläche konzentrierte gesättigte Salzlauge (z.B. im Gipshut) ansammelt, die eine weitere in die Tiefe greifende Auslaugung verhindert. Weiter hinzutretende Süßwässer bzw. ungesättigte Laugen kommen infolge ihres geringen spezifischen Gewichtes nicht mehr mit dem Salzgestein in Berührung.

Geringfügige Reliefunterschiede des Salzspiegels (im m-Bereich) hängen mit der unterschiedlichen Löslichkeit der Salzminerale zusammen. Streichen leichter lösliche Kali-Salze, wie z.B. Carnallit, am Salzspiegel aus, kann die Subrosion partiell mehrere Dekameter tiefer reichen. Nach der Sättigungsphase erfolgt jedoch kein weiteres Eindringen in den Salzkörper.

Die Lage und Morphologie des Salzspiegels läßt sich mit den hier eingesetzten Methoden der industriellen Reflexionsseismik kaum oder nicht bestimmen. Nur Bohrungsaufschlüsse können hier Sicherheit schaffen.

Es sind jedoch auch aktive Salzspiegel bekannt, bei denen sich entweder kein natürlicher Gleichgewichtszustand einstellen konnte oder kann (abfließende Sole) oder durch anthropogene Eingriffe ein Ungleichgewicht hervorgerufen wurde.

In jedem Falle ist die Kenntnis des Auslaugungsumfanges und der Salzspiegel einer Struktur von großer Bedeutung für die Projektierung, Abteufung und Sicherheit eines Bergwerkbetriebes.

Subrosion, d.h. Ablaugung des Dachbereiches, schlägt bei der Bewertung negativ zu Buche. Es wurden deshalb aufmerksam alle Subrosionserscheinungen im Dachbereich, soweit sie erkennbar waren, registriert, auch solche, die heute unter tertiärer oder kretazischer Bedeckung liegen und wahrscheinlich inaktiv sind.

2.1.7 Innentektonik der Salzstrukturen

Die Salzformationen des Zechstein, auf 800 bis >1000 m primäre Mächtigkeit geschätzt, aber auch die Salinare des Oberrotliegend und z.T. die Salinare des Keuper und des Oberjura gerieten als massen-beweglicher, plastisch verformbarer und spezifisch relativ "leichter" Gesteinsverband durch Scherspannungen in Bewegung und hatten, zunächst über das beulenartige Salzkissenstadium in mehreren Schüben schließlich die heutige Diapirform erreicht. Dabei haben die ursprünglich flachlagernden Schichtverbände äußerst komplizierte Lagerungsformen angenommen, deren Faltenachsen aufgrund der Geometrie der Diapire jede beliebige Richtung einnehmen können. Diese Interndeformation der Salinarabfolgen ("Salztektonik" oder "Halokinese") gehorcht nicht den üblichen Gesetzmäßigkeiten der endogenen Tektonik.

Durch die partiellen Zuwanderungsraten der Salzmassen werden die zunächst noch im intakten Verband lagernden jüngeren Zechsteinserien (Leine, Aller etc.) mit angehoben, was zum Zerreißen und Zerblocken ihrer mehr elastisch reagierenden nicht-chloridischen Schichtglieder (Salztonen, Anhydrite und Karbonate) führte. Diesen Vorgang hat SCHACHL (1968) in einer Prinzipskizze des Salzstockes HÖFER in Niedersachsen anschaulich dargestellt.

Durch komplizierte Spezialfaltung können die geringmächtigen Kaliflöze stark ausgedünnt und über weite Strecken tektonisch völlig unterdrückt sein, sodaß älteres Staßfurt-Steinsalz unmittelbar neben jüngerem Leine-Steinsalz liegen kann.

Das für die Anlage eines Endlagerbergwerkes in erster Linie in Frage kommende Staßfurt-Steinsalz ist oft (aber nicht immer) in einem Zentralsattel mit erheblichem Mächtigkeitsanstieg zusammengeflossen. Von großer Bedeutung für den Bau der oberen Strukturbereiche ist die Höhe des heutigen Anschnitt-Niveaus, denn mit den intensivsten Einfaltungen jüngerer, allgemein weniger reinen Salzserien ist primär an den Salzstockflanken und im Topbereich zu rechnen.

Im Detail hat jede Struktur ihr eigenes "Innenleben", das durch Tiefbohrungen allein nicht aufgeklärt werden kann, zumal deren Anzahl aufgrund des um jede Bohrung zu legenden Sicherheitspfeilers gering gehalten werden muß. Genaue Kenntnisse über den inneren Strukturbau sind nur durch bergmännisches Auffahren von Schächten und Strecken in einem späten Erkundungsstadium zu gewinnen. Im Rahmen der hier vorgelegten Untersuchungen werden die bislang bekannten Fakten für die einzelnen Strukturen zusammengetragen und kurz kommentiert.

In den bereits für den Westteil des Untersuchungsgebietes vorliegenden Studien wurde die Abschätzung der Komplexität des Innenbaues nicht berücksichtigt. Der Grund hierfür war die geringe Kenntnis über die Salzstockmorphologie (Flankenbau, Überhänge etc.) und des Innenbaues bei unverritzten oder nur punktuell durch Bohrungen untersuchten Salzkörpern. In der vorliegenden Studie wird der Versuch unternommen, diese Kriterien, ebenso wie es für den Ostteil geschieht, mehr zu gewichten.

Der Innenaufbau von Salzstocküberhängen ist nach allen Erfahrungen im allgemeinen hochkomplex, sodaß sich die Anlage eines Endlagers, das ja ein besonderes Volumen möglichst reinen Steinsalzes (möglichst Staßfurt-Steinsalz Na₂) erfordert, in solchen Überhängen verbietet. Zudem neigen Salzstöcke mit extremen Überhängen zur Ausbildung von nur sehr schmalen Stielen in größerer Tiefe. Diese dünnstieligen, mit breiten Überhängen versehenen Salzstrukturen sind charakteristisch für stark tektonisierte Zonen, wie sie sich über bedeutenden Sockelfugen oder Lineamenten ausbilden. Die Lage der Strukturen in Bezug auf das erkannte Sockelstörungsmuster ist demnach zu beachten. Über langzeitaktiven Sockelstörungen können in den Diapirkörpern im allgemeinen verheilte, aber auch gelegentlich klaffende oder mit Laugen gefüllte Störungszonen auftreten, die negativ zu bewerten sind.

2.1.8 Flächenbedarf in den Salzstrukturen für die Errichtung eines Endlagerbergwerkes

Die für den Bergwerksbetrieb genannten maximalen Gebirgstemperaturen von ca. 50°C bedeuten, daß die Einlagerungssohlen nicht tiefer als ca. 1000 m liegen dürfen. Daraus und aus der geforderten Mindestsalzschwebe von 300 m folgt, daß die Salzstock-Oberfläche über dem Endlagerbergwerk nicht tiefer als 500 m unter Gelände liegen darf. Denn dann verbleibt unter der postulierten Salz-Mindestschwebe von 300 m nur noch eine potentiell nutzbare Bergwerkshöhe von 200 m. Die Forderung nach einem Mindestvolumen der Endlagerbereiche muß so in eine Aussage über eine in 300 m Tiefe unter Kulmination und in 1000 m unter Flur benötigte Mindestfläche übersetzt werden. Hierfür werden die in der KPE-Studie (KPE = Konsortium Planung Endlager) verwendeten Abmessungen zugrunde gelegt. Dort wurde - standortunabhängig - von

einer Fläche von $900 \times 6000 \text{ m} = 5,4 \text{ km}^2$ ausgegangen. Da in jedem Salzstock mit Bereichen gerechnet werden muß, die für die Endlagerung nicht geeignet sind - z.B. Hauptanhydrit (A3), Kaliflöze (K2 und K3), Laugenvorkommen, stark tektonisierte Bereiche etc. - und zu diesen Bereichen auch angrenzende Sicherheitsfesten einzuhalten sind, scheint ein Aufschlag von wenigstens 20 % erforderlich zu sein, was im Bereich 700 m unter Gelände einer Horizontal-Fläche von $6,5 \text{ km}^2$ entspricht. Im vorgesehenen Endlager-Niveau sollte ein Horizontalschnitt bei zusätzlicher Berücksichtigung der Festen im Flankenbereich wenigstens 9 km^2 umfassen.

2.1.9 Temperaturfeld in Norddeutschland

Die in *Nordwestdeutschland* heute in 1 km Tiefe unter NN auftretenden Temperaturen sind der Anlage 1.3 zu entnehmen, die vom Referat Geothermik der Geowissenschaftlichen Gemeinschaftsaufgaben (GGA, Hannover) zugeliefert wurde (SCHELLSCHMIDT 1994). Zur Methodik siehe SCHULZ & WERNER (1989). Das Temperaturniveau in diesem Tiefenschnitt liegt zwischen ca. 40°C und ca. 50°C , der Maximalwert bei $60,5^\circ\text{C}$. Das Niedersachsen-Becken mit der ihm zuzurechnenden Braunschweig-Gifhorn-Bruchzone (= "Gifhorner Trog") weist mit $>50^\circ\text{C}$ im allgemeinen ein höheres Temperaturniveau auf als die nördlich anschließende Pompeckj-Scholle mit einem Niveau um 40°C . Allerdings treten auch hier positive Temperaturanomalien, z.B. SW Stade und bei Wilhelmshaven mit Temperaturen über 50°C auf. Dennoch steigen die Temperaturen lokal nie so stark an, daß man örtliche positive Temperaturanomalien als Negativ-Kriterium bei der Auswahl der untersuchungswürdigen Salzstrukturen in Rechnung stellen müßte.

In *Ostdeutschland* wurden seit Anfang der 60er Jahre regionale Untersuchungen zur Temperaturverteilung in größeren Tiefen durchgeführt. Die Temperaturdaten - vermessen wurden fast alle Tiefbohrungen - wurden im Zentralinstitut für Physik der Erde gesammelt und nach dem Stand der Kenntnisse korrigiert und für die Konstruktion von Temperatur-Tiefenkarten verwendet (Anl. 1.3 E). Das Temperaturniveau für die Tiefenfläche 1000 m u. NN liegt zwischen $<30^\circ\text{C}$ (auf NE-Rügen) und Werten von $>50^\circ\text{C}$ in Teilbereichen der nordostdeutschen Senke. Zum Südrand des Beckens, d.h. in Annäherung an den Mitteldeutschen Hauptabbruch werden wieder Werte $<40^\circ\text{C}$ erreicht. Auf der Scholle von Calvörde können Werte $<35^\circ\text{C}$ auftreten.

Die zusammengefaßte Temperatur-Tiefenfunktion $T(z)$ für Ostdeutschland zeigt folgende Werte (nach GLÄSER 1983):

Tabelle 1: Temperatur-Tiefenfunktion $T(z)$ für Ostdeutschland

Tiefe in m unter Gelände	Temperatur in $^\circ\text{C}$ und Streubereich	Anzahl der Messungen
500	25,2 (+/-13)	314
1000	41,5 (+/-14)	365
1500	57,7 (+/-16)	188
2000	70,9 (+/-17)	151
3000	109,0 (+/-20)	106

Es ist seit langem bekannt, daß im Bereich von Salinarstrukturen abweichende Temperaturverhältnisse herrschen. Die höhere Wärmeleitfähigkeit des Salzes gegenüber dem Nebengestein führt dazu, daß in tieferen Strukturbereichen größere Wärmemengen relativ schnell nach oben abgeleitet werden, sich dort aber an den darüberliegenden Sedimenten stauen. Dadurch entsteht im unteren Teil des Salzstockes ein Wärmedefizit, das sich im Verlauf der Isothermen als eine Temperaturerniedrigung widerspiegelt, d.h. es kehren sich die positiven Anomalien aus den oberen Schichten in negative Anomalien in den unteren Schichten um. Die von GLÄSER (1983) ermittelten Temperaturverhältnisse auf einem Profil vom Salzstock Peckensen im W zur Struktur Lüge-Liesten im E mit unterschiedlichen Salzmächtigkeiten zeigt Abb. 1.

Nach ZIEGENHARDT et al. (1980) sind ausgesprochen große Temperaturanomalien an Salzstöcken zu erwarten, die einen breit ausgebildeten Fuß besitzen, weit aufgedrungen sind und von einem Deckgebirge mit großem Wärmewiderstand (trockener Gipshut, Braunkohle, Tone) überlagert werden.

Bei Salzkissen und Salzlagern, die nicht oder nur schwach halokinetisch deformiert wurden, wird die genannte Grenztemperatur von 50°C erst in größerer Tiefe erreicht. Endlagerungssohlen könnten daher hier noch etwas tiefer liegen als in Salzstöcken, vielleicht bis etwa 1200 m. Darunter ist, als Folge der hohen Temperaturen und wegen des mit fortschreitender Tiefe zunehmenden Gebirgsdrucks und erhöhter Fließfähigkeit des Salzes, auch hier mit schwierigen Arbeitsbedingungen zu rechnen.

2.1.10 Erdbebengefährdung

Bei der Errichtung kerntechnischer Anlagen (Kraftwerke, Wiederaufbereitungsanlagen und Endlager radioaktiver Stoffe) wird der Seismizität große Beachtung geschenkt. Sowohl die Kenntnis der seismischen Gefährdung (einschließlich historischer Beben) des vorgesehenen Standortortes, als auch das Wissen über die Wirkung von Erdbeben sind Voraussetzungen für eine risikoarme Standortauswahl, d.h. einer geringeren Eintrittswahrscheinlichkeit eines Bebens von bestimmter Stärke. Auf die unterschiedlichen Erdbebenarten, ihre Entstehungsursachen und den Kenntnisstand der Erdbebenaktivität in Deutschland wurde ausführlich in den Berichten von LEYDECKER & HARJES (1978), BEST et al. (1982) und KRULL (1991) hingewiesen.

Die Lage der Erdbeben-Epizentren in Deutschland und die Intensität der Beben in den vergangenen 990 Jahren sind den Darstellungen von LEYDECKER (1994) zu entnehmen (siehe Abb. 2 und 3, sowie Tab. 14 und 15). Daraus geht hervor, daß im Gegensatz zum Niederrhein-Gebiet, dem Oberrhein-Graben und der Schwäbischen Alb sowie Sachsen die Erdbebendichte und -frequenz in Norddeutschland außerordentlich gering ist.

Allerdings kennt man auch Schadenbeben (Priegnitz 1410 und Alfhausen 1770). Dabei überwiegen in diesem Raum auch noch die Beben, die auf Einsturzereignisse (Hamburg, Alfhausen?) oder Bergbau (Ibbenbüren ?) zurückzuführen sind. Das Beben bei Salzwedel in der Altmark am 21.12.1984 mit einer Intensität von <3,0 könnte möglicherweise mit der Erdgasförderung in der Lagerstätte Salzwedel-Peckensen in Verbindung stehen (LEYDECKER im Druck). Nur in Ausnahmefällen (Soltau) kann auf Beben mit größerer Herdtiefe geschlossen werden (LEYDECKER & STEINWACHS 1980).

Salzstock
Peckensen

Struktur
Gr. Gerstedt

Strukturzug
Lüge-Liesten

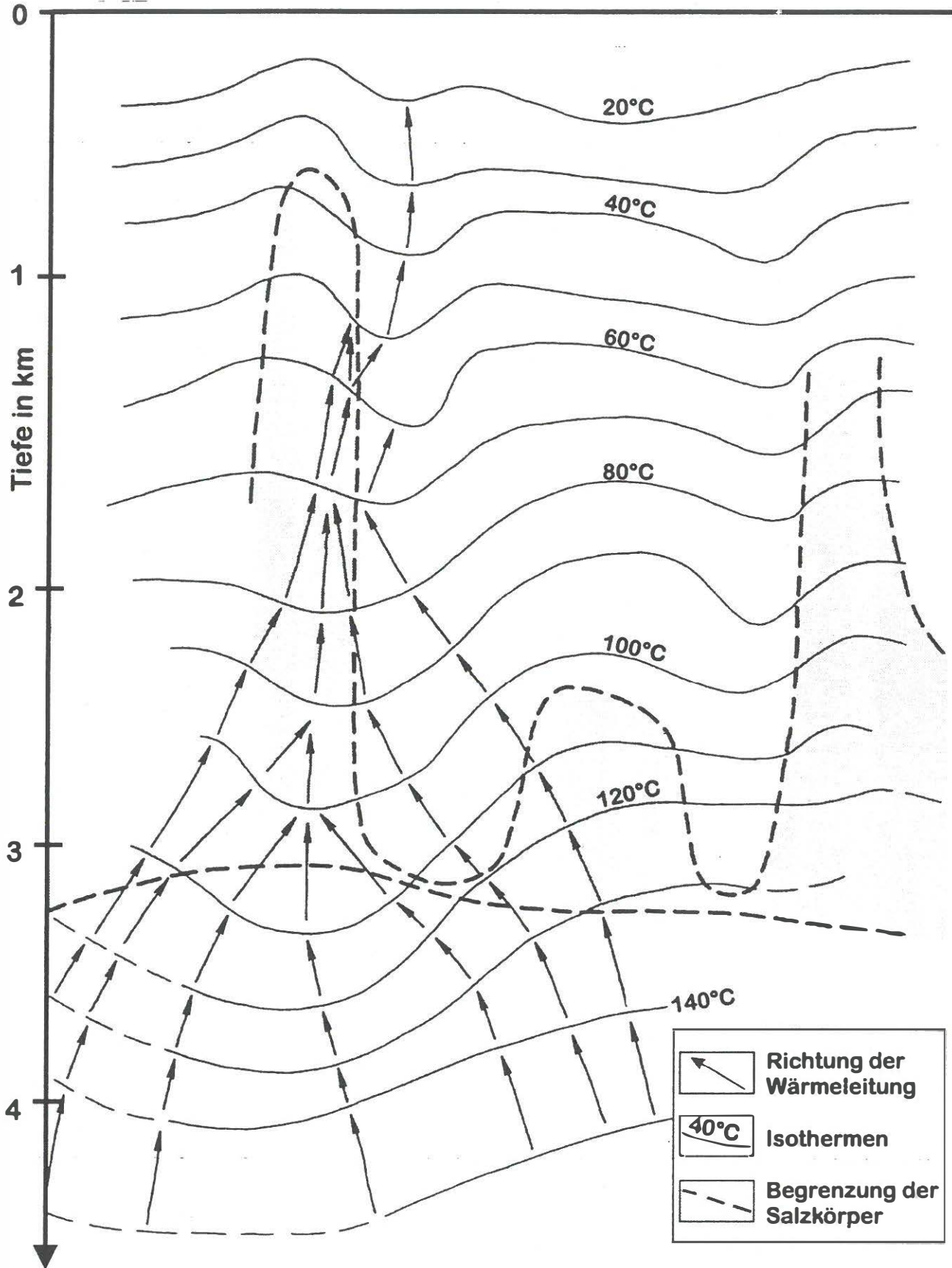


Abb. 1: Wärmeleitung in Salinarstrukturen am Beispiel der Strukturen Peckensen - Gr. Gerstedt - Lüge-Liesten (nach GLÄSER 1983)

Abb. 2

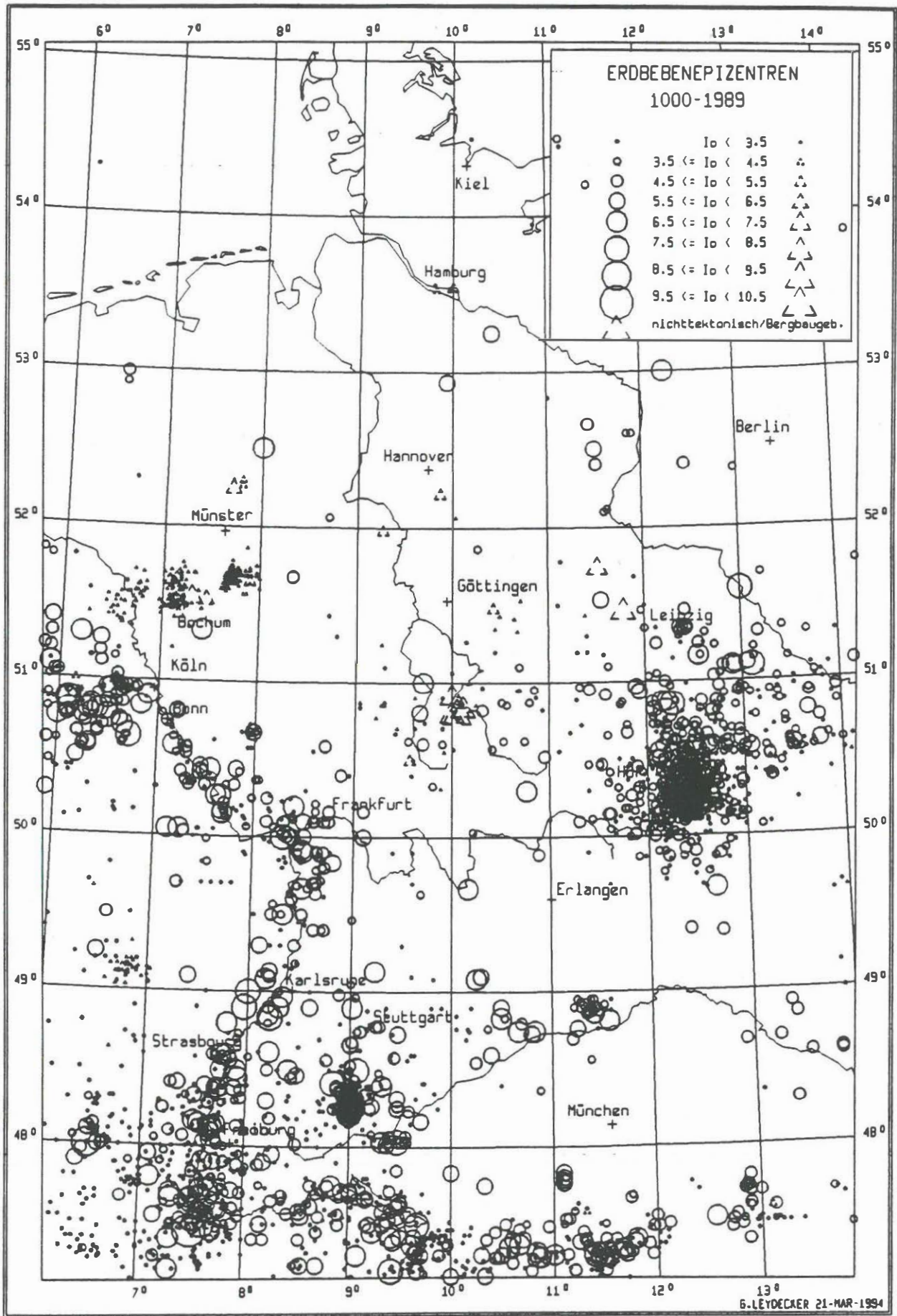
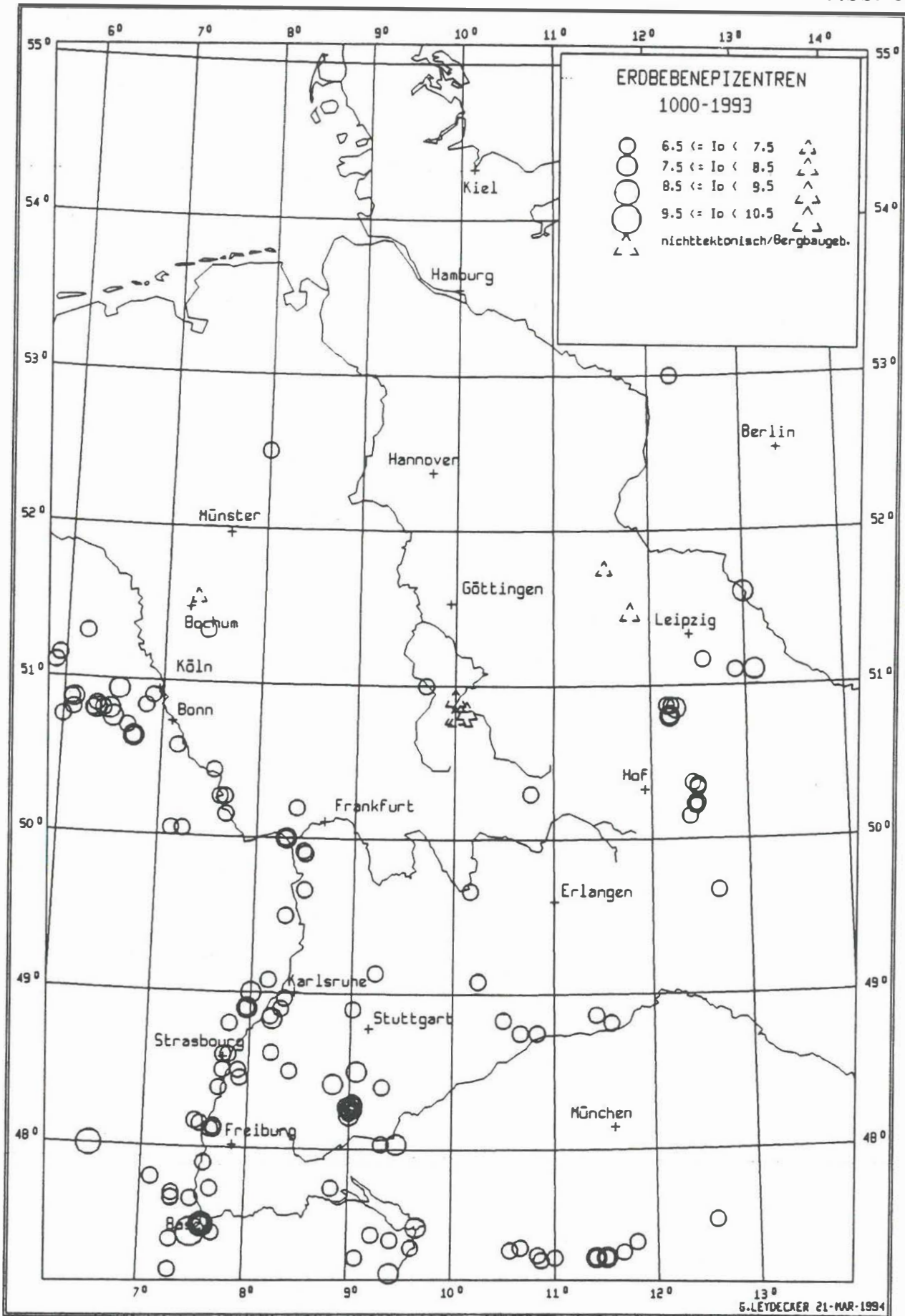
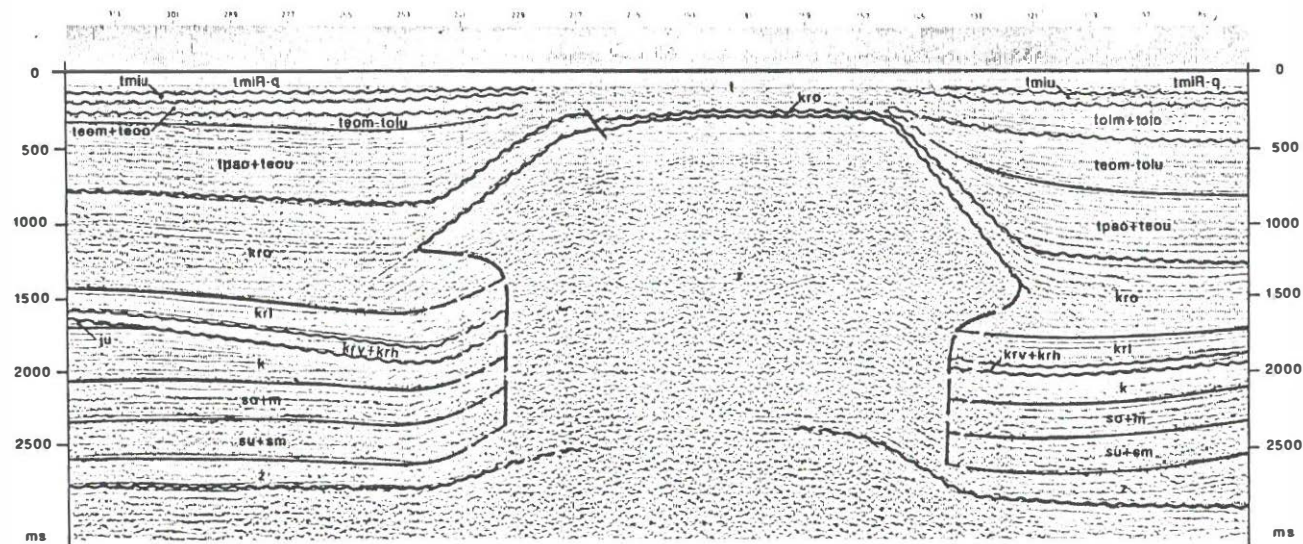
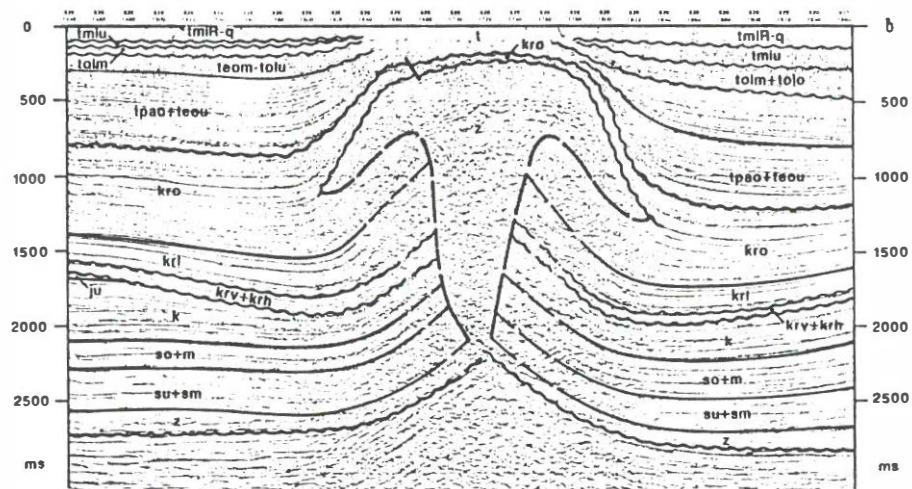


Abb. 3





Reflexionsseismik TAAKEN 1969, Profil 55 (3 fach-Überdeckung, SEISMOS-GmbH), Archiv-Nr. BGR 2592
 (Horizontalmaßstab 1:15 625, Zeitmaßstab 10cm = 1s, verkleinert)



Reflexionsseismik ROTENBURG - TAAKEN 3D 1989/90, Profil 620 NS (3D FD-Migration, PRAKLA-SEISMOS),
 Archiv-Nr. BGR 107 559 (Horizontalmaßstab 1:25 000, Zeitmaßstab 10cm = 1s, verkleinert)

Vergleich der geologischen Interpretation reflexionsseismischer Profile aus den Jahren 1969
 (dreifache Überdeckung) und 1989/90 (3D, migriert). Struktur TAAKEN, TK 25 Blatt 2831.

266501

Damit kann Erdbebengefährdung als Negativkriterium für die Untersuchungswürdigkeit von Salzstrukturen weitgehend ausgeschlossen werden. Im übrigen wird auf die Arbeit von LEYDECKER (1980) verwiesen.

2.1.11 Quartäre Rinnen und Permafrost-Problematik

Große Aufmerksamkeit wurde - in Abweichung von den bisher abgeschlossenen Studien - der Barriere-Funktion des Deckgebirges gewidmet. Eine flächenhafte Überdeckung des Caprocks einer Salzstruktur mit wasserhemmenden Unterkreidetonen und eine ungestörte Decke aus Sedimenten der Oberkreide und des Alttertiär (z. B. Rupel-Tone) würde ein optimales geologisches Barriere-System darstellen. Dies ist aufgrund der für das Bergwerkskonzept geforderten geringen Tiefenlage des Caprock im allgemeinen nicht gegeben. Jedoch erscheint auch eine unverritzte und möglichst ungestörte Überdeckung allein durch die Tone des Alttertiär (Eozän, Rupel) noch akzeptabel.

Verschiedentlich durchschneiden jedoch quartäre Rinnen, die sich über 500 m in die quartären und präquartären, insbesondere die tertiären Sedimente eintiefen können, die Dachregion der Diapire und verletzen diese geologische Barrieren.

Das Relief der Quartär-Unterfläche spiegelt die Erosions- und Exarationsprozesse sowie die bruch- und salttektonischen Bewegungen, die Einbrüche über Auslaugungen und die glazigenen Deformationen seit dem Beginn des Pleistozän wider. Die vorwiegend in der Eis-Zerfallsphase des 1. Elsterglazials hydromechanisch subglazial entstandenen Rinnen folgen in ihrem Verlauf dem radialen Spaltensystem und marginalen Querverbindungen der Eisloben, d.h. ihre Anlage und Verschüttung erfolgten rückschreitend von S nach N entsprechend dem fortschreitenden Eiszerfall.

Bei einem generellen Anstieg der Quartärbasis von N nach S weisen die meisten quartären Ausräumungszonen (QAZ) eine nordnordöstliche (untergeordnet N-S) bis nordöstliche Streichrichtung auf.

Nach EISSMANN & MÜLLER (1979) ist bei einer angenommenen Eismächtigkeit von 2000-3000 m mit Destruktionszonen bis max. 700 m zu rechnen. Die mächtigsten Rinnenprofile Ostdeutschlands wurden in SW-Mecklenburg in der Bohrung SW M 4/65 Hagenow mit 427 m (ca. 400 m u. NN) und in Brandenburg in der Bohrung Karstädt N 8/58 mit 532 m (465 m u. NN) angetroffen.

Die Erosion erfaßte unterschiedliche stratigraphische Bereiche. Während zumeist nur das jüngste Tertiär (Miozän) angekratzt wurde, reicht die Erosion lokal z.T. bis in das Prätertiär (QAZ Jerichow-Wittstock). Die Rinnenfüllung besteht überwiegend aus Schmelzwasser- und Beckensedimenten und nur untergeordnet aus Geschiebemergeln.

Den Rinnen stehen nach v. BÜLOW (1967) Hochflächen und reliefarme Flächen in Tiefenlagen zwischen 0 und 100 m u. NN gegenüber.

Die Ortung derartiger quartärer Rinnen ist nicht immer einfach und erfordert z.T. spezielle geophysikalische Verfahren (Geoelektrik, Flachseismik). Dennoch ist es gelungen, einige der Rinnen

auch im Bild der kommerziellen Reflexionsseismik - ausgelegt für die viel tiefergreifende KW-Prospektion - zu erkennen und auszukartieren. In Ostdeutschland wurden daneben noch spezielle, engständige Gravimeter-Messungen herangezogen. Das sicherste Mittel, um quartäre Rinnen zu orten, ist jedoch ein dichtes Netz von wenig tiefen Bohrungen, wie es sich bei der großflächigen Prospektion auf Grundwasser ergibt (Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung in Nordwestdeutschland und vergleichbare Projekte in Ostdeutschland) (KUSTER & MEYER 1979).

Die Wirksamkeit der Salinarstrukturen während des Quartär war sehr unterschiedlich und muß in jedem Einzelfall genau untersucht werden.

An einigen Strukturen kam es offensichtlich während des jüngeren Tertiär und älteren Pleistozän zu starken Subrosionserscheinungen und damit verbundenen Einsenkungen. Dies führte teils zur Bildung isolierter Subrosionssenken (vermutlich Struktur Kraak) bzw. zu zusätzlichen Vertiefungen des Rinnenniveaus (z.B. Salzstock Demin und ? Schönwalde).

Das Aufbrechen von klaffenden Brüchen im höheren Teil von Salzkörpern als Folge der Einwirkung des Permafrostes während des Pleistozän und ihre spätere Verfüllung mit pleistozänem Lockermaterial ist eine erwiesene Tatsache (BAUER 1992). Mit den uns zur Verfügung stehenden Mitteln war dieses Phänomen nicht nachzuweisen. Doch kann man davon ausgehen, daß die Salzstock-Dachlagen bis in eine Tiefe von 400 m unter der Quartärbasis durchaus solchen Permafrost-Beanspruchungen ausgesetzt gewesen sein könnten. Wir haben dieses Kriterium wegen unzureichender Datenbasis nicht in unsere Betrachtungen einbezogen, möchten aber auf diese negative Tatsache aufmerksam machen (vgl. auch DUPHORN 1986).

2.1.12 Hydrogeologische Gliederung des Aquifersystems im Deckgebirge

Eine für das gesamte Verbreitungsgebiet der zu bewertenden Salzstrukturen gültige hydrogeologische Stockwerksgliederung kann aufgrund der Heterogenität der Decksedimente nicht vorgenommen werden. Sie ist für jeden Strukturbereich gesondert zu betrachten. Hier soll lediglich eine prinzipielle Grobgliederung gegeben werden.

Die Tone des Rupel, eine küstenferne, tonig-schluffige Beckenfazies des Mitteloligozän (Alttertiär) gelten allgemein als die nichtleitende Basis des süßen Grundwasserstockwerks. In ihrem regionalen Verbreitungsgebiet liegt die Salz/Süßwassergrenze in der Regel an der Oberkante der Rupeltone. Im Falle einer tonig-schluffigen Ausbildung des tiefen Oberoligozän (in SW-Mecklenburg die Plater Schichten) oder des mittleren Oberoligozän (Sülsdorfer Schichten in SW-Mecklenburg, W-Brandenburg und der Altmark) kann sie auch darüber liegen.

Die tieferen Grundwasserstockwerke (Rhät bis Paläogen, Mittlerer Keuper, Buntsandstein etc.) enthalten Salzwasser bzw. -lösungen mit Gesamtkonzentrationen von 1 bis weit über 300 g/l.

Bei ausreichender Mächtigkeit und lückenloser Verbreitung bildet der Rupelton eine zuverlässige hydrogeologische Barriere und schützt die neogenen und pleistozänen Grundwasserleiter vor Versalzung durch aufsteigende mineralisierte Tiefenwässer.

In umgekehrter Richtung minimieren oder unterbinden diese Grundwasserhemmer, wo sie über den Salzstockdächern noch unverritz vorhanden sind, den Fortgang der Subrosion der Salzstockfirsten.

Im jüngeren Tertiär folgen über diesen basalen Grundwasserhemmern weitere Grundwasserleiter und Grundwasserhemmer. Von besonderer Bedeutung ist der sogenannte "Hamburger Ton" des Hemmoorium (Untermiozän) (= Untere Mallißer Schichten), ebenfalls ein wichtiger Grundwasserhemmer.

Bei den quartären Abfolgen ist aufgrund der Akkumulationsbedingungen eine entsprechende Schematisierung nur sehr bedingt möglich. Prinzipiell können die glazifluviatilen und glazilimnischen Sande der Elster-, Saale- und Weichselkaltzeiten als weitere Grundwasserleiter angesehen werden. Die tonig-schluffigen Ablagerungen der Warmzeiten (Interglaziale) sowie die glazigenen Bildungen der Kaltzeiten (Grundmoränen, Geschiebemergel etc.) bilden dagegen Grundwasserhemmer und -nichtleiter.

Entscheidend für die konkrete Objektsituation ist der Grad der Intaktheit dieser Regime. So können über hoch aufragenden Salinarstrukturen die verschiedenen Grundwasserleiter und -stauer teilweise oder völlig fehlen, sei es primär oder durch spätere Abtragung. Auch quartäre Rinnen können sich - wie bereits ausgeführt - tief in das Deckgebirge einschneiden und so eine hydraulische Verbindung zwischen dem Salzwasser- und dem Süßwasserstockwerk geschaffen haben. Über solchen "Erosionsfenstern", die ungünstigstenfalls auch in jüngeren quartären Bildungen auftreten, besteht gegebenenfalls hydraulischer Kontakt zwischen den höheren süßen Grundwasserleitern und möglicherweise bis zu den Oberflächenwässern.

2.1.13 Konkurrierende Nutzung

Unter konkurrierender Nutzung werden hier sowohl die untertägige Nutzung des Salzstockes als auch die Nutzung des Geländes über dem Salzstock verstanden, die der Anlage eines Endlagerbergwerkes entgegenstehen bzw. eine Interessenabwägung erforderlich machen.

Untertägige konkurrierende Nutzungen sind z.B. fördernde oder stillgelegte Bergbaubetriebe oder Kavernenfelder. Auch Kohlenwasserstofflagerstätten an den Flanken bzw. im Liegenden eines Salzstockes sind zu berücksichtigen. Zum einen können sich rechtliche Probleme mit den Nutzern dieser Lagerstätten ergeben, zum anderen können durch Setzungsvorgänge bei der Förderung erdbebenartige Erschütterungen ausgelöst werden (Erdbeben von Salzwedel, LEYDECKER, im Druck), die ein abzuwägendes Risiko darstellen.

In der hier vorgelegten Betrachtung werden auch die bekannten geplanten Vorhaben für anderweitige Nutzungen aufgeführt.

Bergrechtliche Mutungen und Gerechtsame, also Abbau-Optionen, die für die Strukturen und für das Gelände über ihnen gewährt wurden, sind hier nicht in Betracht gezogen worden. Dieser Bereich untersteht der Fachaufsicht der zuständigen Bergämter.

Die Nutzung des Geländes über einem Salzstock schließt neben der Land- und Forstwirtschaft militärische Übungsgebiete, Natur- und Landschaftsschutzgebiete, Wasserschutzgebiete, Sied-

lungsräume, größere Industriebauten und Verkehrswege ein. Allerdings sind diese in der Beschreibung der Einzelstrukturen mit aufgeführten Nutzungen nicht kohärent erfasst worden, weil die Angaben z.T. nur unvollständig vorlagen und auch von Bundesland zu Bundesland in ihrer Qualität variieren können. Zuständig für diese Angaben sind die jeweiligen Landesplanungsbehörden.

Als weiterer Gesichtspunkt der "Oberflächennutzung" ist die Bedeckung der Strukturen durch Wasser zu berücksichtigen, denn die Errichtung eines Endlagers im Wattenmeer oder in einem Binnengewässer kann nicht als "Stand der Technik" bezeichnet werden. Deshalb wurde keine der zahlreichen gut untersuchten Salinarstrukturen unter dem deutschen Festlandsockel oder in der Drei-Meilen-Zone in die Betrachtung einbezogen.

Wir möchten unterstreichen, daß wir mit unseren Bewertungskriterien über das hinausgegangen sind, was den Vorläuferberichten zugrunde lag. Es ergeben sich daraus andere, eingrenzendere Gewichtungen, die aber dem derzeitigen Stand der Kenntnis entsprechen.

3 Das Datenmaterial

Das geologische und geophysikalische Datenmaterial, auf das sich die vorliegende Studie stützt, ist von sehr unterschiedlicher Qualität und Dichte. Es muß zwischen Nordwestdeutschland und Ostdeutschland unterschieden werden.

3.1 Das Datenmaterial in Nordwestdeutschland

In Nordwestdeutschland stützt sich die Studie im wesentlichen auf die reflexionsseismischen Messungen, die im Auftrage der deutschen Erdölindustrie durchgeführt wurden, auf die Bohrprotokolle der Tiefbohrungen zur Exploration von Kohlenwasserstoffen, Schwefel, Eisenerz, Salz und Grundwasser, sowie auf Forschungsbohrungen. Hinzu kommen die bereits in den Jahren 1978-1985 erfolgten Strukturkartierungen im Rahmen des "Geotektonischen Atlas von Nordwestdeutschland im Maßstab 1:100 000" (siehe KOCKEL 1985) (BGR-Archiv-Nr.98 866) und dessen Teilberichte (siehe Schriftenverzeichnis), die Untersuchungen im Rahmen des Salznutzungsplanes 1974-1979 (KOCKEL 1979) (BGR-Archiv-Nr.83 182), die Studien über die Lagerung tertiärer Horizonte in Nordwestdeutschland (FRISCH & KOCKEL 1993) (BGR-Archiv-Nr. 110 084), die Studie über Genese und Migration von Erdölen im Niedersächsischen Becken (BINOT et al.1988 und 1989) (BGR-Archiv-Nr. 103 853 und 106 255) und die Studie über die Paläogeographie des Oberjura im Niedersachsen-Becken (DULCE et al. 1993) (BGR-Archiv-Nr.110 820).

Es zeigte sich bei der Überprüfung der Salzstöcke in Niedersachsen (16 Strukturen) und Schleswig-Holstein (6 Strukturen), daß nach der Erstkartierung im Rahmen der Arbeiten am "Geotektonischen Atlas von Nordwestdeutschland", die in den Jahren 1980 bis 1985 durchgeführt wurden, durch die weiterführende Explorationstätigkeit der in Deutschland operierenden Erdgas-Firmen in allen Fällen umfangreiches und sehr verbessertes Basismaterial (Seismik und Bohrungen) neu zur Verfügung stand. Dieses Material war bei der Erstkartierung ebensowenig wie bei den ersten Standorteignungsstudien bekannt.

Neben 2D-seismischen Messungen konnte nun z.T. auch in Einzelfällen auf die qualitätsmäßig sehr viel bessere 3D-Seismik zurückgegriffen werden, sowie auf Vibroseis-Messungen in dicht besiedelten Stadtgebieten, z.B. im Raum Bremen. Auch wurden im Zuge der Exploration zahlreiche neue Bohrungen niedergebracht, die neu zu gliedern waren und in das vorhandene Netz seismischer Messungen eingefügt werden mußten.

Insgesamt wurden 1.500 Profilkilometer neue Reflexionsseismik ausgewertet und 35 neue Tiefbohrungen (ab 1983) berücksichtigt.

Dieses umfangreiche neue Datenmaterial sowie in den vergangenen 10 Jahren neu gewonnene grundsätzliche Erkenntnisse über den Bau und das Bewegungsmuster der Strukturen in Nordwestdeutschland (z.B. Beeinflussung der Salzstockmorphologie durch die santonen kompressiven Inversionsvorgänge, die Erkenntnis des Auftretens von Zechstein-Salzkeilen im Nebengebirge etc.) führte in den meisten Fällen zu neuen und z. T. abweichenden Erkenntnissen über die Salzstockmorphologie und damit auch zu einer neuen Bewertung ihrer Eignung. Die moderne, hochauflösende Reflexionsseismik ermöglichte darüber hinaus eine Präzisierung der Morphologie der Salzstockflanken unter den meist großen Überhängen (Abb. 4). Die Salzkörper unterhalb der Überhänge sind im allgemeinen wesentlich schmäler als bislang angenommen. Diese Befunde konnten in Einzelfällen durch moderne Tiefbohrungen abgesichert werden, die im zentralen Teil des Salzkörpers angesetzt waren und in der Tiefe wieder in das Nebengebirge gerieten.

Die hochauflösende Reflexionsseismik ermöglichte es auch in Einzelfällen, quartäre Rinnen zu erkennen und ihren Verlauf zu kartieren. Allerdings wurde diese Kartierung aus Kapazitätsgründen nicht flächenhaft durchgeführt und beschränkt sich vorwiegend auf die Salzstockbereiche und ihre unmittelbare Umgebung.

Im Gegensatz zu den erneut untersuchten Salzstöcken in Niedersachsen und Schleswig-Holstein wurden im Bereich der innerhalb des zentralen Niedersachsen-Beckens gelegenen Münder-Mergel-Salzkissen (6 Strukturen) keine neuen, über die Ausarbeitungen in den oben angeführten Studien hinausgehenden geologischen und geophysikalischen Daten beigebracht.

3.2 Das Datenmaterial in Ostdeutschland

Ausgewertet wurden alle Bohrungen, die das Quartär durchteuften oder zumindest wesentliche Teile des Quartär aufgeschlossen haben. Von wesentlicher Bedeutung sind die Tiefbohrergebnisse der Erdöl-Erdgas-Industrie, sowie Forschungsbohrungen und Erkundungsbohrungen für Eisenerz (Priegnitz), Kali (Scholle von Calvörde), Geothermie und Untergrund-Speichervorhaben, die allein gesicherte Angaben über den tiefen Untergrund liefern. Die meisten Bohrakten sind im Archiv der BGR-Außenstelle Berlin archiviert, zu einem geringeren Teil wurden sie von den Geologischen Landesämtern der neuen Bundesländern entliehen.

Für jedes Untersuchungsgebiet wurde eine rechnergestützte Bohrdatei angelegt, die alle verfügbaren Bohrungen enthält, die das Quartär durchteuften oder mindestens in einer Mächtigkeit von 75 m erschlossen.

Ausgegangen wurde von einem Datenspeicher Geologischer Grunddaten (GGA) für das Gebiet der ehemaligen DDR, die die sogenannten "Kopfdaten" (Name, Nummer, Jahr, Hoch- und Rechtswert, TK25-Nr., Höhe ü. NN, Bohrlochabweichung und erreichte Tiefe) enthält. Die stratigraphischen Angaben wurden so detailliert wie möglich nach der Maske der Niedersächsischen Bohrdatei mit Hilfe des "Symbolschlüssels Geologie" (Hannover, 1991) nach der jeweils letzten zugänglichen Bohrungsbearbeitung umgesetzt und ergänzt, was den Anforderungen dieser Analyse an die Genauigkeit entsprach.

Auch die Festlegung der Quartärbasis war in den Bohrungen im allgemeinen ausreichend (Ausnahme: Bohrungen mit geringer Endtiefe, bei denen ein Verdacht auf glazial verschleppte Tertiärschollen nicht ausgeschlossen werden kann). Ergänzt wurde die Bohrdatei durch Angaben aus der bestehenden Datei HYRA, in denen die hydrogeologischen Bohrungen gespeichert sind.

Darüber hinaus wurden alle Berichte und Angaben über die Salzstöcke und ihr Umfeld, soweit sie in den Archiven zugänglich waren, genutzt.

Aus den verschiedenen geophysikalischen Untersuchungsprogrammen der Erdöl- und Erdgaserkundung wurden vor allem die digital registrierten seismischen Messungen für die strukturgeologischen Untersuchungen herangezogen. Auf die analog registrierten seismischen Messungen wurde wegen der schlechten Qualität weitgehend verzichtet.

Als Ergänzung der seismischen Unterlagen wurden gravimetrische Ergebnisse insbesondere für Fragestellungen der Salzstockkonfiguration und quartärer Rinnensysteme herangezogen. Grundlage dafür waren Karten der Bouguerschwere im Maßstab 1:50 000, die auf einer generellen gravimetrischen Aufnahme in einem Punktabstand von 200 - 500 m basieren. In den Untersuchungsgebieten wurden diese Karten digitalisiert, auf ein einheitliches Gitter gebracht und spezielle Filteroperationen zur Verdeutlichung der interessierenden Anteile des Schwerfeldes vorgenommen.

4 Technische Durchführung der Kartierung

4.1 Methodik, Geschwindigkeitsmodell

Die Arbeiten für die erste Bewertung der Salinarstrukturen in den *alten Bundesländern* liegen mehr als 10 Jahre zurück. Zusätzliche Erkenntnisse wurden durch die Erarbeitung des "Geotektonischen Atlas von Nordwestdeutschland" gewonnen (KOCKEL et al. 1985). Die im Rahmen der vorliegenden Studie vorgenommene intensive Überarbeitung aller Strukturen durch Einbindung weiterer, neuer Bohr- und geophysikalischer Ergebnisse hat den Kenntnisstand weiter verbessert. So sind die hier vorgelegten Resultate mit denen aus den neuen Bundesländern durchaus vergleichbar und für eine einheitliche Gesamtbetrachtung geeignet.

Die Kartierung der Dachmorphologie, der Flanken und des Umfeldes der Salinarstrukturen erfolgte gleichermaßen auf der Basis der geologischen und geophysikalischen Rohdaten über eine Tiefenwandlung der Registrierzeiten der seismischen Wellen (für methodische Einzelheiten wird auf KOCKEL et al., 1985 verwiesen).

Für die Bearbeitung in den alten Bundesländern wurden die erforderlichen Rechenoperationen, die auf der Basis der abgelesenen Laufzeiten und des bestehenden Geschwindigkeitsmodells

(JARITZ et al. 1979, 1991) zur Zeit-Tiefenwandlung führten, mit einem Apple PC und einem selbst entworfenen Rechenprogramm ausgeführt. Die gewonnenen Daten wurden per Hand auf Schußlinienpläne 1:25 000 übertragen und die Tiefenlinienkonturierung ebenfalls konventionell per Hand durchgeführt. Seitliche Migration wurde nach der Tangentenmethode zur Konstruktion der Profilschnitte angewendet.

In den *neuen Bundesländern* konnten modernere rechentechnische Hilfsmittel einschließlich Software eingesetzt werden. Die volle Ausschöpfung der damit angebotenen Bearbeitungs- und Darstellungsmöglichkeiten erfordert zwar einerseits den zeitaufwendigen Aufbau der verschiedensten Datenspeicher bietet aber andererseits die zukunftsorientierte Möglichkeit der schnellen Laufendhaltung und anderweitigen Nutzung der erzielten Ergebnisse (siehe Kap. 9).

Auch in den neuen Bundesländern war Grundlage für die Zeit-Tiefenwandlung der Zeitschnitte bzw. Isochronenpläne der regionale Geschwindigkeitsansatz für Nordwestdeutschland (JARITZ et al. 1979, 1991). Diesem Ansatz liegt eine lineare Geschwindigkeitszunahme mit der Tiefe zugrunde, charakterisiert durch den Gradienten dieser Geschwindigkeitsfunktion und einer ortsvariablen Anfangsgeschwindigkeit.

Bei der Konstruktion der Anfangsgeschwindigkeitskarten wurden sowohl die Ergebnisse vorliegender regionaler Geschwindigkeitszusammenfassungen in Form eines kombinierten Geschwindigkeitsansatzes (REINHARDT 1968) als auch die Ergebnisse der im jeweiligen Blattschnitt liegenden bohrlochseismisch vermessenen Bohrungen berücksichtigt.

Für die einzelnen Untersuchungsgebiete erfolgte dabei eine Aufbereitung und Umsetzung der Ergebnisse bohrlochseismischer Messungen und Vertikalprofilierungen in einem Datenspeicher mit der im NLFb üblichen Datenstruktur für Geophonversenkmessungen.

Ein besonderer Aspekt der Bearbeitung ergab sich bei solchen Strukturen, deren Umfeld über die Grenzen der neuen Bundesländer nach W reicht. Erstmals wurden hier Ergebnisse aus den alten und den neuen Ländern in eine zusammengefaßte Untersuchung einbezogen und damit gleichzeitig der Anschluß an den "Geotektonischen Atlas von Nordwestdeutschland" hergestellt. Diese Anpassung konnte nur auf der Basis der Reflexionszeiten ausgewählter Horizonte und ihrer Umsetzung in Tiefen über einen einheitlichen Geschwindigkeitsansatz seismischer Wellen erfolgen. Deshalb waren die seismischen Profilergebnisse in Form der CDP-Zeitschnitte und daraus abgeleiteten Lotzeit-Karten von Reflexionshorizonten Ausgangspunkt der Interpretationsarbeiten.

Der Aufbau der Bohrungsdatei und die Recherche-Arbeiten in den Datenspeichern "Geologische Grunddaten" und "HYRA-Bohrungsspeicher", sowie die Kommunikation mit den Datenspeichern in Hannover erfolgte auf der zentralen Datenverarbeitungsanlage VAX 4000, das Plotten der Ergebniskarten auf einem Versatec-Farbplotter. Für spezifische Erfassungs-, Bearbeitungs- und Interpretationsarbeiten des geologischen und geophysikalischen Datenmaterials standen eine graphische Workstation (VAX 4000/60), an die ein A1-Digitalisierungsgerät angeschlossen war, sowie PC's zur Verfügung.

Software-Grundlage und wesentlichstes Arbeitsinstrument für die Erarbeitung und Ergebnispräsentation von Profilschnitten und Karten der geologischen Zielhorizonte war das interaktive seismische Processingsystem ISP003 (Sattlegger GmbH). Dieses auf einer Workstation installierte System realisiert neben dem Input von Punkt-, Profil- und Flächendaten, den Aufbau und

die Verwaltung einer Datenbasis für Vektor- und Gitterdaten, die Umsetzung von reflexionsseismischen Zeitfeldern in den Tiefenbereich mit Hilfe moderner Migrationsalgorithmen und umgekehrt die Modellierung von Zeitfeldern aus geologischen Modellsituationen sowie die Ausgabe von Profilen und Tiefenlinienkarten.

Zentrale Elemente dieses Processing-Systems sind die Komponenten für zwei- und dreidimensionale Migration, mit deren Hilfe aus Zeitschnitten bzw. Isochronenplänen Tiefenprofile bzw. Tiefenlinienpläne konstruiert wurden. Wichtig dabei ist, daß diese Zeit-Tiefenwandlung unter Berücksichtigung von horizontalen und vertikalen Schichtgeschwindigkeitsvariationen (gekrümmte Strahlenwege) und der Brechung an den Schichtgrenzen erfolgt. Das ist gerade für die Transformation des Laufzeitbildes seismischer Wellen in ein reales Tiefenbild im nahen Umfeld von Salzstrukturen von wesentlicher Bedeutung.

Im Ergebnis der Arbeiten mit dem ISP003-System wurde eine Gitterdatenbasis für ausgewählte Schichtgrenzen erstellt. Sie ist die Grundlage der Strukturkartendarstellung und ermöglicht darüber hinaus die Konstruktion von beliebigen Profilschnitten sowie Pseudo-3D-Abbildungen der strukturellen Situation.

Umfangreiche Editierungsmöglichkeiten garantierten die Einpassung neuer Interpretationsergebnisse in die Datenbasis und damit eine Korrektur und Laufendhaltung der Kartenausgaben.

Ergänzend dazu wurde über spezielle Programme der Datentransfer von Gitterdaten in und aus PC-betriebenen Gitterverarbeitungsprogrammen realisiert. Damit war es z.B. möglich, die Lokal-feldableitungen der gravimetrischen Daten außerhalb des ISP003-Systems vorzunehmen, zugleich aber alle Systemressourcen hinsichtlich Digitalisierung, Gitterung, Kartenbearbeitung und -präsentation in Anspruch zu nehmen und die integrative Bewertung verschiedener geologisch-geophysikalischer Ergebnisse innerhalb des ISP003-Systems zu erweitern.

4.2 Durchführung und Darstellung

4.2.1 Nordwestdeutschland

Die Dachmorphologie einschließlich der auftretenden Scheitelgräben und -störungen der 22 Permsalz-Strukturen wurden im Maßstab 1:50 000 in Form von Tiefenlinienplänen der Dachfläche kartiert und an Bohrbefunden abgeglichen. Die Formationen, die dem Caprock direkt aufliegen, sind mit Symbolen in den Plänen angegeben.

Darüber hinaus wurden bis zu 8 Tiefenlinienpläne des unmittelbaren Umfeldes der Salinarstrukturen ebenfalls in Form von Tiefenlinienplänen kartiert und im Maßstab 1:100 000 dargestellt:

- Isobathenplan Basis Zechstein (z)
- Isobathenplan Basis Unterer und Mittlerer Buntsandstein (su + sm)
- Isobathenplan Basis Röt und Muschelkalk (so+m)
- Isobathenplan Basis Keuper (k)
- Isobathenplan Basis Lias (juhe-jutcu)
- Isobathenplan Basis Dogger (jutco-jmcl)
- Isobathenplan Basis Malm (jo+Wd)
- Isobathenplan Basis Unterkreide (kru)

- Isobathenplan Basis Oberkreide (kro)
- Isobathenplan Basis Tertiär (tpao-teou)

Nur in wenigen Fällen wurden zusätzliche Tiefenlinienpläne beigefügt:

- Isobathenplan Basis Mittelmiozän bis Quartär (tmim - q)
- Isobathenplan Basis Untermiozän (tmiu)
- Isobathenplan Basis Mittel- und Oberoligozän (tolm + tolo)
- Isobathenplan Basis Mitteleozän bis Basis Unteroligozän (teom-tolu)

Die seismischen Strukturkartierungen wurden auch in diesen Karten mit den Befunden aus benachbarten Tiefbohrungen abgeglichen.

Aus den Umfeldkarten und den Plänen der Dachmorphologie wurden je Struktur mehrere geologische Schnitte konstruiert und ihr Verlauf so festgelegt, daß die Schnitte die Struktur queren und Aufschluß über den Flanken- und Firstaufbau sowie die Differenzierung des präsalinaren Sockels geben.

Die Darstellung der 6 stratiformen Oberjura-Salzlager erfolgte in Form einer Übersichtskartierung im Maßstab 1 : 200 000 für die Mächtigkeiten der Obermalm-Salze und einer Suite von 9 Profilschnitten im gleichen Maßstab.

Zusätzlich wurden sowohl die industrielle Reflexionsseismik als auch die Pläne der Tiefenlage der Quartärbasis dahingehend überprüft, ob sich Anzeichen für quartäre Rinnen oder junge Subrosionssenken finden lassen. Auf eine generelle Revision der bereits vorliegenden Karten der Tiefenlage des Quartär wurde allerdings verzichtet.

Jede Struktur wurde anschließend (siehe Teil 2 des Berichtes) nach einem einheitlichen Schema beschrieben.

- Die **Strukturkarte des Daches** (1:50 000) enthält die Lagepunkte aller Bohrungen, die die Dachfläche untersuchten bzw. durchörterten mit Angabe deren Tiefenlage und dem stratigraphischen Symbol für die dem Caprock auflagernde Schicht. Darüber hinaus ist die Lage und Nummer der Profilschnitte angegeben.
- Die **Tiefenlinienpläne ausgewählter geologischer Horizonte des Umfeldes** (1:100 000) enthalten ebenfalls alle Bohrungen, die in diesem Bereich abgeteuft wurden mit Angaben des Namenskürzels. Tiefenwerte u. NN wurden nur den nach 1983 niedergebrachten Bohrungen beigefügt. Aus diesen Plänen sind die räumliche Morphologie der Flankenbereiche, die räumliche Morphologie des präsalinaren Sockels (im Isobathenplan z), das Auftreten und die Ausdehnung von Kissenfüßen (im Isobathenplan su+sm) und von Salzkeilen (im Isobathenplan so+m) zu entnehmen.
- **Aus den geologischen Schnitten** (1:50 000) kann das vorhandene Salzvolumen abgelesen werden. Ferner sind die Morphologie der Flankenbereiche, das Vorkommen von Kissenfüßen und Salzkeilen, die lokalen und überregionalen Diskordanzen, Lage und Alter der primären und sekundären Randsenken sowie die strukturelle Genese in Raum und Zeit ersichtlich. Bohrungen, die auf der Profiltrasse stehen, sind eingezeichnet.

266511

4.2.2 Ostdeutschland

Die bearbeiteten ostdeutschen Salzstrukturen wurden in folgender Weise dargestellt:

- Bohrkarte 1:50 000
- Lageplan der seismischen Profile und geologischen Schnitte 1:100 000
- Karte der Bouguer-Schwere 1:100 000
- Isobathenpläne 1 : 100 000 für folgende Horizonte:
 - Isobathenplan Basis Zechstein (z)
 - Isobathenplan Oberfläche Zechstein
 - Isobathenplan Basis Röt (so)
 - Isobathenplan Basis Keuper (ku)
 - Isobathenplan Basis Lias (ju)
 - Isobathenplan Basis Dogger (jm)
 - Isobathenplan Basis Malm (jo)
 - Isobathenplan Basis Unterkreide (kru)
 - Isobathenplan Basis Oberkreide (kro)
 - Isobathenplan Basis Tertiär (tpa-teou)
 - Isobathenplan Basis Obereozän bis Basis Unteroligozän (teoo-tolu)
 - Isobathenplan Basis Rupel (tolm)
 - Isobathenplan Basis Quartär (q)

Hinzu treten ein oder mehrere geologische Schnitte durch die Struktur im Maßstab 1:50 000 horizontal und vertikal.

- **Die Bohrkarte** 1:50 000 enthält alle für das jeweilige Kartenblatt in den Bohrungsspeicher aufgenommenen Bohrungen, die das Quartär durchteuft bzw. mindestens mit einer Tiefe von 75 m aufgeschlossen haben. Die Bohrpunkte wurden nach den höchsten Hoch- und Rechtswerten nummeriert. Namen, Koordinaten und Quartär-Tiefen sind einer Liste im Erläuterungstext zu entnehmen.
- **Der Lageplan der seismischen Profile und geologischen Schnitte** basiert auf der bis Ende 1989 vom ehemaligen VEB Kombinat Geophysik Leipzig geführten RX-Profilkarte 1: 25 000. Übernommen wurden nur die digitalseismisch vermessenen Profile (Profilname und Schußpunkte). Zusätzlich enthält diese Karte die Lage der geologischen Profilschnitte.
- Die **Karte des Lokalfeldes der Bouguer-Schwere** enthält vornehmlich die gravimetrischen Anomalien oberflächennaher Dichteinhomogenität. In ihr sind vor allem Abbilder von eng begrenzten Störkörpern (> 2-facher Gitterabstand) wie quartäre Ausräumungsrinnen in ihrer typischen langgestreckten schmalen Anomalienform und Salzakkumulationen (kreisrunde bis langgestreckte Anomalien) im Zusammenspiel mit der Konfiguration des Hutgesteins erkennbar. Zur Ausgliederung der Lokalfeldanteile aus den Bou-

guer-Schwerekarten kamen kreissymmetrische Hochpaßfilter zum Einsatz (Abb. 5), die mit Grenzwellenlängen von 10 km und 5 km unterschiedliche Abbildungstiefen repräsentieren.

- Bei der Konstruktion des *Isobathenplanes Basis Quartär* (q) wurde von dem Kartenwerk "Verbreitung, struktureller Bau und Tiefenlage der Quartärbasis im Nordteil der DDR 1:100 000" von RUTHSATZ (1979-1982), RUTHSATZ & BACH (1981) und RUTHSATZ (1990) ausgegangen. Da dieses Kartenwerk vorwiegend auf seismischen, gravimetrischen und geomagnetischen Daten aufbaut und nur teilweise oder gar nicht durch die vorhandenen Bohrungen verifiziert wurde, kann es nur einen groben Überblick vermitteln. Ferner wurde die Darstellung der Quartärbasis aus den Lithofazieskarten Quartär (LKQ) 1:50 000 berücksichtigt, soweit diese zugänglich waren, sowie kleinere Gebietskarten aus Erkundungs- und Forschungsberichten. In jedem Falle erfolgte eine Überarbeitung unter Berücksichtigung der in den Bohrspeicher aufgenommenen Bohrungen und der Lokalfeldkarte der Bouguer-Schwere.

Bei dem gewählten Isolinienabstand von 50 m wurde die Tiefenfarbgebung so gewählt, daß alle Gebiete von 100 m u. NN und flacher mit brauner Farbe und die tieferen Bereiche unterhalb 100 m u. NN mit gelben und grünen Abstufungen belegt sind. Letztere markieren die quartären Tieflagen, zu denen auch die quartären Rinnen zählen. Die von 100 m u. NN bis über NN liegenden Bereiche entsprechen den reliefarmen Flächen und Hochflächen nach v. BÜLOW (1967). Die Markierung der Tiefenlage bei 100 m u. NN ist mehr oder weniger willkürlich, sie sollte aber nicht flacher als 75 m u. NN (sinnvoll bei 25 m Isolinienabstand) gelegt werden.

Als Belegpunkte für die Isobathenpläne Basis Quartär wurden repräsentative Bohrungen ausgewählt. In den tieferen Isobathenplänen konnten aufgrund der geringeren Zahl in der Regel alle Bohrungen dargestellt werden.

- Die *Isobathenpläne der ausgewählten Schichtgrenzen unterhalb der Quartärbasis* basieren i.a. auf Lotzeitplänen, die, ausgehend vom Bohranschluß durch die Korrelation charakteristischer Reflexionshorizonte (Tabelle 2) auf den digitaleismischen Zeitschnitten erarbeitet wurden. Im Ergebnis eines 3D-Migrationsprozesses ergaben sich tiefenmigrierte Reflektorpläne, die Ausgangspunkt für die Konstruktion der ausgewählten Tiefenlinienpläne waren. Dabei wurden sowohl Ergebnisse ausgewählter Profilbearbeitungen in Problemgebieten (2D-Migration) einbezogen wie auch Anpassungen an benachbarte Kartenunterlagen (Ergebnisse des Geotektonischen Atlas von Nordwestdeutschland und des regionalen Kartenwerkes der Reflexionsseismik und regionaler geophysikalischer Ergebnisberichte der ehemaligen DDR) vorgenommen.
- Mit Hilfe des Sattlegger-Programms wurden aus den Tiefenlinienkarten *Profilschnitte* konstruiert. Sie geben über die Kausalbeziehungen der Schichtmächtigkeiten und Erosionsdiskordanzen, des Beginns und Endes der Randsenkenentwicklung (primäre und sekundäre) sowie des Querschnitts des Salzstockes Auskunft, und lassen Aussagen über die zeitliche und räumliche Entwicklung der Struktur sowie das annähernde Volumen des in den Salzkörper migrierten Salzes zu.

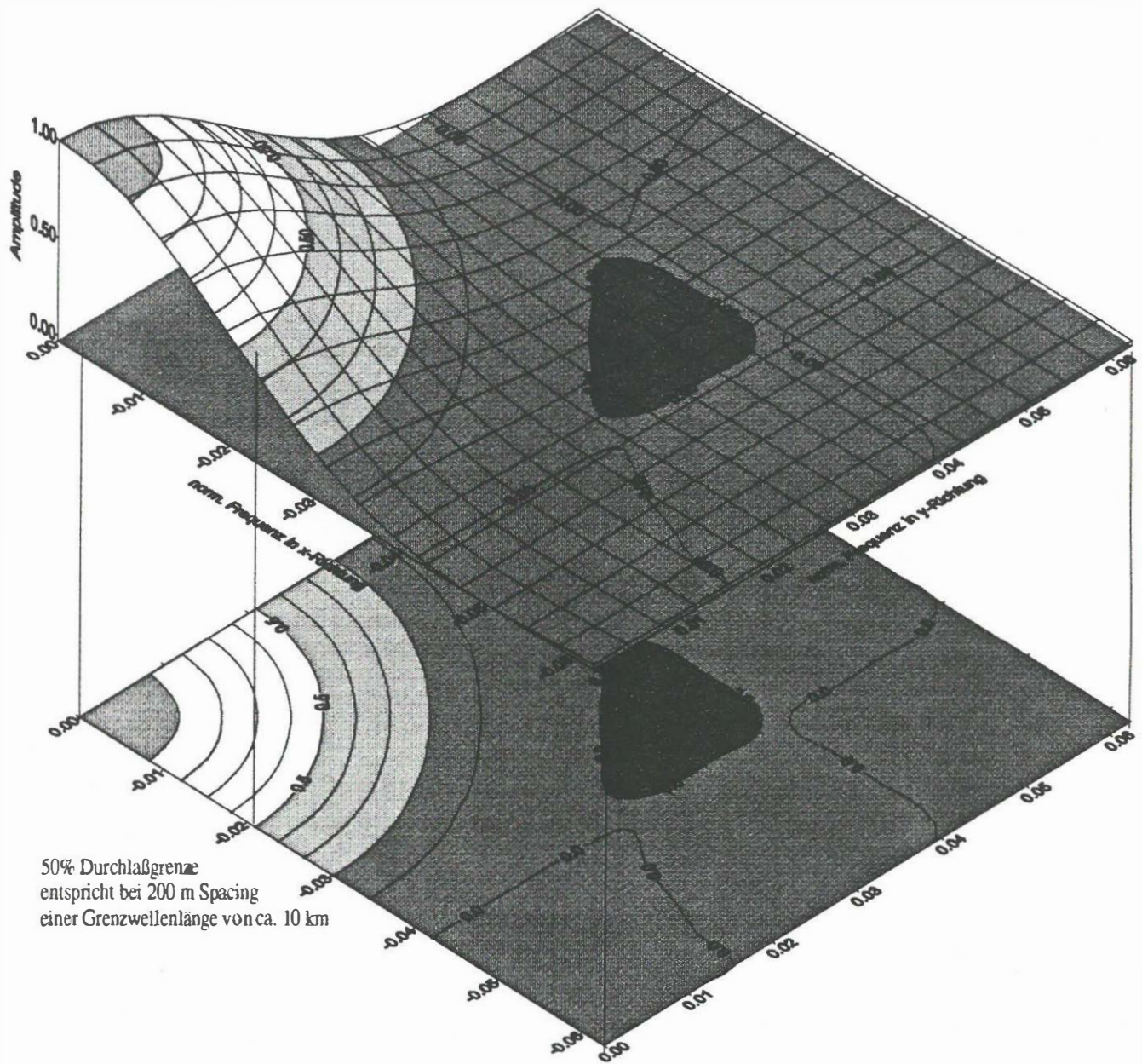


Abb. 6: Filtercharakteristik für Lokalfeldberechnung der Bouguer-Schwere

Tabelle 2: Bezeichnung, Zuordnung und Korrelierbarkeit der Reflexionshorizonte in Ostdeutschland

Horizont-bezeichnung	Stratigraphische Zuordnung	Korrelierbarkeit Korrelationsicherheit
A1	Grenzbereich Eozän//Oligozän	Überwiegend sicher zu verfolgen, teilweise nicht vorhanden (Pleistozän-Rinnen) bzw. Qualitätsverschlechterung über Salzstrukturen
A2	Grenzbereich Ober-/Untereozän	siehe A1
T1	Transgressionsfläche Känozoikum	Transgressionshorizont mit unterschiedlichem stratigraphisch-lithologisch Liegenden bedingen große Qualitätsschwankungen
B2	Cenoman-Basis	gute Qualität
T2	Transgressionsfläche Hauterive bis Unteralb	gute Qualität
T4	Diskordanzfläche Wealden bis Valangin	wechselnde Qualität, überwiegend fraglich und nicht durchgängig verfolgbar
L4	Lias-Basis	wechselnde Reflexionsqualität
K2	Oberfläche oberer Gipskeuper	unterschiedliche Reflexionsqualität
M1	etwa Oberfläche Muschelkalk	gute Reflexionsqualität, sichere Korrelation
M3	Basis Muschelkalk	Reflexionsqualität wechselnd, Korrelation im Minimum
S1	Oberste Anhydrite des Röt-Salinars	allgemein sichere Korrelation möglich
X1	Oberfläche Zechstein	Reflexionsqualität überwiegend gut, in Randbereichen von Salzstöcken Korrelationsverschlechterung
Z1	Oberfläche Basalanhydrit	überwiegend sichere Korrelation, 1. Maximum einer kräftigen doppelphasigen Reflexion, Beeinflussung des Wellenbildes durch Interferenzen in Salzauswanderungsgebieten mit X1, Qualitätsverschlechterung bis Ausfall der Reflexionen unter Salzstrukturen oder im Bereich komplizierter suprasalinärer Bedeckung

5 Die salinaren Gesteine in Norddeutschland

Salinargesteine (d.h. Anhydrit, Gips, Steinsalze, Kalisalze, Magnesiumsalze und zwischengeschaltete Tone) treten in sehr unterschiedlich alten Formationen in Norddeutschland auf.

Salinare im *Devon* oder *Unterkarbon* sind in Deutschland im Gegensatz zu Belgien und den Niederlanden bislang nicht bekannt, werden aber vermutet, vor allem im Bereich des Niederrhein und der deutschen Nordsee (HEDEMANN & PAPROTH 1991).

Die ältesten in Norddeutschland bekannten Salinare treten im *Oberrotliegend* auf, vorwiegend in der Helgoland-Formation (= Obere Elbe-Formation Ostdeutschlands). Ihr Vorkommen beschränkt sich regional auf den erweiterten Untereleberaum, das südliche Schleswig-Holstein, Westmecklenburg bis zur Müritz, Ostfriesland und die innere Deutsche Bucht. Es handelt sich, je nach regionaler Lage zum Subsidenzzentrum des Oberrotliegend, um einzelne oder bis zu 15 Steinsalz-Horizonte von unterschiedlicher Mächtigkeit, die durch rote Tonstein- und Sandstein-Pakete voneinander getrennt sind (TRUSHEIM 1971, GEBHARDT & PASTERNAK 1993). Diese Steinsalzlager eignen sich primär nicht für die Anlage eines Endlagers, da sie allgemein

nicht mächtig genug sind und zudem meist in großer Tiefe liegen (2000-5000 m). Im Zuge der Diapirbildung im südlichen Schleswig-Holstein, in Ostfriesland, dem Unterelberaum und der Deutschen Bucht wurden die Salinare zusammen mit den Tonmitteln jedoch halokinetisch beansprucht und stiegen als Tektonit ("Haselgebirge") in Form eines Salz-Ton-Gemisches in den Kernen der Diapire bis an die Oberfläche auf. Diese Diapire werden deshalb auch als Doppelsalinare bezeichnet. Oft kam es zur Überwältigung der im allgemeinen randlich in den Diapiren auftretenden Zechsteinsalze, sodaß das Haselgebirge gelegentlich über dem jüngeren Zechstein-salinar zu liegen kommt. Eine Mobilisierung der Rotliegend-Salinare des westmecklenburgischen Subsidenzzentrums wurde bisher nicht nachgewiesen.

Im Oberperm finden sich in ganz Norddeutschland die **Zechstein-Salinare**. Sie werden allgemein als die interessantesten Salzlager für die Anlage eines Endlagers angesehen. Es handelt sich um zyklische Abfolgen, bestehend aus Tonen, Karbonaten (Kalken, Magnesit), Sulfaten (Anhydrit, Gips) und Chloriden (Steinsalz, Kalisalze, Magnesiumsalze). Insgesamt werden in Nordwestdeutschland im zentralen Subsidenzraum des Unterelbe-Bereiches 7 Zyklen gezählt (BEST 1986b), deren Verbreitung wahrscheinlich bis in das westliche Mecklenburg reicht. Weiter östlich und südlich werden nur noch 6 bzw. 5 Salinare gezählt. Das mächtigste Steinsalz findet sich im zweiten Zyklus (Staßfurt-Steinsalz), weitere interessante Steinsalzlager treten im dritten Zyklus auf (Leine-Steinsalz). Die Steinsalzpakete in den anderen Zyklen, besonders im ersten und vom vierten bis siebten Zyklus sind sehr viel geringmächtiger und deshalb für die Anlage eines Endlagers ungeeignet. Die Salze des Zechstein sind vor allem deshalb von Bedeutung für die Anlage von Speichern bzw. Endlagern, weil sie infolge halokinetischer Prozesse sekundäre Akkumulationen in Form von Salzkissen oder Salzstöcken bilden, in denen reine Steinsalzkörper von mehreren km Höhe und großer lateraler Ausdehnung anzutreffen sind.

Im **Oberen Buntsandstein (Röt)** treten zwei stratiforme Salzlager auf, eines an der Basis mit durchschnittlich 100 m Mächtigkeit, das andere im Röt 2 ist nur um die 10 m mächtig (RÖHLING 1991). Sie bilden fast nie sekundäre Akkumulationen und kommen deshalb für die Anlage eines Endlagers nicht in Frage.

Gleiches gilt für die Salinare des **Mittleren Muschelkalk**, die sich zwar überall in Nordwestdeutschland, sowie in Westmecklenburg, der Altmark, der Scholle von Calvörde und in Thüringen finden, aber allgemein geringmächtig sind. Insgesamt sind bis zu 5 Salinarhorizonte erkannt worden (GAERTNER & RÖHLING 1993), überregionale Verbreitung besitzen allerdings nur die beiden unteren.

Von Interesse sind die Salinare des **Mittleren Keuper**, besonders in Nordwestdeutschland, weil sie allgemein aus sehr reinem Steinsalz ohne Einschaltung von Kalisalzen bestehen und nur relativ wenig Anhydrit enthalten. Ihre Verbreitung in relativ reiner Form ist weitgehend, ähnlich der der Rotliegend-Salze, auf den Unterelberaum, Ostfriesland, das südliche Schleswig-Holstein und die Deutsche Bucht beschränkt. In Ostdeutschland sind die Salinare des Mittleren Keuper zwar ebenfalls weit verbreitet, aber wesentlich unreiner und geringmächtiger. Im Unteren Gipskeuper wurden bis zu 5 Salinarlager von überregionaler Bedeutung ausgeschieden, im Oberen Gipskeuper insgesamt bis zu 3. Die primären Mächtigkeiten der Steinsalzlager sind sehr unterschiedlich und erreichen Werte zwischen 10 und 500 m. Sie werden durch Tonsteinmittel und Sulfathorizonte unterschiedlicher Mächtigkeit voneinander getrennt (BEUTLER, frdl. mündl. Mitt. 1994, TRUSHEIM 1972). Die Keupersalze neigen, ähnlich den Zechsteinsalzen, zu sekundärer, halokinetisch bedingter Akkumulation. Sie können Salzkissen bilden, in denen mehr als 1700 m

mächtige reine Steinsalzkörper enthalten sein können. Oft kommt es am Rande von Zechsteinsalzstöcken oder Doppelsalinen zur Anschweißung derartiger Keupersalzkissen, besonders im Unterelberaum und im südlichen Schleswig-Holstein. Eigenständige Keupersalz-Diapire wurden jedoch nicht beobachtet.

Eine weitere Salzformation tritt in nur Nordwestdeutschland im *Oberjura* auf, genauer im Obermalm 3 und Obermalm 5 (Münder Mergel). Die Salinare sind auf die tief abgesunkenen Teile des Niedersachsen-Beckens beschränkt, also auf den Raum zwischen dem Emsland im W und der Weser nördlich des Weser-Wiehengebirges im E und südlich einer Linie Boertange-Nienburg. Östlich der Weser treten die Salinare nur geringmächtig und auf lokale Senken beschränkt auf. Es handelt sich um zahlreiche Steinsalzhorizonte, die durch Zwischenmittel aus grauen Tonen und Anhydritlagen voneinander getrennt sind. Die primäre Gesamtmächtigkeit des Münder Mergel-Salinars kann 1000 m überschreiten. Ähnlich wie bei den Keupersalinen kann auch das Münder Mergel-Salinar sekundäre, halokinetisch bedingte Akkumulationen in Form von Salzkissen bilden.

Im Gegensatz zum Oberrhein-Graben treten im norddeutschen Tertiär keine Salinare auf.

6 Grundzüge des Baues Norddeutschlands und sein Bezug zu den Salinar-Strukturen

Bis vor wenigen Jahren war man allgemein mit TRUSHEIM (1957) und SANNEMANN (1963) der Ansicht, daß das Auftreten von Salzstöcken nur in besonderen Fällen, aber nicht allgemein eine direkte Beziehung zur Block-Strukturierung des prä-salinaren Sockels aufweist (Theorie der Halokinese), daß es also zu Diapirbildung allein als Folge von Salzmächtigkeit, Versenkungstiefe und Neigung des Subsalinars kommen könne. Durch die verbesserten reflexionsseismischen Methoden und die systematische Untersuchung aller Salinar-Strukturen in Norddeutschland kann diese Theorie als überwunden gelten. Das autonome Fließen des Salzes und die daraus resultierende Salzstrukturbildung bedürfen in jedem Falle eines tektonischen Impulses, der durch Bewegungen an Sockelschollenrändern im Subsalinar ausgelöst wird. Hierauf hatte vor TRUSHEIM (1957) bereits MEINHOLD (1956) und danach MEINHOLD (1959) sowie RICHTER-BERNBURG & SCHOTT (1959) u. a. hingewiesen. Unter fast allen in Norddeutschland und der deutschen Nordsee untersuchten Salzstöcken haben sich Sockelstörungen oder Sockelflexuren nachweisen lassen, deren Bewegungen zu den unterschiedlichsten Zeiten die Salzstrukturbildung auslösten oder beeinflussten. Dies gilt nicht unbedingt mit gleicher Ausschließlichkeit auch für die Salzkissen, vor allem nicht für die Keuper- und Oberjura-Salzkissen. Das bedeutet jedoch nicht, daß über jeder nachweisbaren Sockelstörung sich auch ein Diapir gebildet haben muß. Oft finden sich über den erkannten Sockelfugen Inversionsstrukturen, die aus schmalen Grabenzonen entstanden und z.T. heute durch Salz modifiziert, lateral in Diapire einmünden, die sich über der Sockelstörung wie Perlen auf einer Schnur anordnen.

Wenn sich unter den meisten Diapiren bzw. in deren unmittelbarer Nachbarschaft eine Sockelstörung oder -Flexur im Subsalinar sicher nachweisen läßt, ist das Verteilungsmuster der Salzstöcke in Norddeutschland auch ein ungefähres Abbild des Sockelschollenmusters im Untergrund. Anl. 1.2 zeigt die Haupt-Sockelschollenränder in Norddeutschland und damit das Grundmuster der Störungen, die seit der Einrumpfung des variszischen Faltengebirges und Abtragungen in seinem Vorland unter Norddeutschland, erstmals aktiv mit Beginn des Stefan, verstärkt im Unterrotliegend und dann während des gesamten Mesozoikum und Tertiär, den prä-

salinaren Sockel durchsetzten. Die Bewegungsabläufe an diesen Sockelfugen waren sehr unterschiedlich, oft bewegten sich die Fugen mehrfach im Verlauf des Mesozoikum, oft auch gegenläufig. Die Bewegungen waren im wesentlichen vertikal gerichtet, aber auch horizontale Bewegungen sind nicht auszuschließen. Das Stressfeld, das diese Bewegungen erzeugte, war im Jungpaläozoikum und während des Mesozoikum und Tertiär fast ausschließlich ein transtensionales, das eine Dehnung bewirkte. Deshalb sind die meisten Sockelstörungen Abschiebungen. Nur während der höheren Oberkreide (Coniac bis Campan) herrschte ein transpressionales Stressfeld vor. Dabei kam es zu Auf- und Überschiebungsbewegungen an den Sockelfugen und auch im Oberbau, die auch die bereits existierenden Salinarstrukturen beeinflussten und deformierten.

In Norddeutschland lassen sich die Phasen, während der es zu Bewegungen an den Sockelfugen kam, ziemlich exakt datieren.

- Die ersten post-variszischen Bewegungen fanden intra-stefanisch statt
- Die meisten Störungen wurden im Unterrotliegend erstmalig angelegt
- Bewegungen während des Zechstein sind wahrscheinlich, aber nicht belegbar
- Die ersten bedeutenden Bewegungen und damit die Anfänge der Salinar-Strukturbildung, erfolgten im Mittleren Buntsandstein, vor allem vor der Solling-Transgression
- Lokal sind auch Bewegungen an den Sockelfugen für den Oberen Buntsandstein und den Muschelkalk zu belegen
- Bedeutende Bewegungen lassen sich für die Zeit des Unteren Gipskeuper und des Oberen Gipskeuper nachweisen, die fast alle bereits mit Beginn des Steinmergelkeuper ausgeklungen waren
- Sockelbewegungen begannen erneut im Mittleren Jura und setzten sich bis in das Apt (höhere Unterkreide) fort
- In der höheren Oberkreide (Coniac bis Campan) erfolgten in Norddeutschland bedeutende Inversionsbewegungen, in deren Folge ehemalige Senkungsräume (Becken, Tröge, Gräben) zu Hochgebieten (Horste, "Wälle", Schwellen) durch Kompressionsbewegungen umgestaltet wurden. Gleichzeitig wandelten sich ehemalige Hochgebiete zu Senkungsräumen mit mächtigen Sedimentfüllungen (Randtröge): Niedersachsen-Becken und seine Randbereiche → Niedersachsen-Scholle, Prignitz-Altmark-Brandenburg-Senke → Prignitz-Lausitzer Wall, Grimmen-Senke → Grimmener Wall, Altmark-Senke mit ihren charakteristischen schmalen Senken- und Antiklinalzügen als komplexer Randtrogl vor der invertierten Flechtinger Scholle. Die Kompressionsbewegungen lassen sich aber auch andernorts, z.B. auf dem südlichen Pompeckj-Block und im Bereich der Braunschweig-Gifhorn-Bruchzone nachweisen
- Sockelbewegungen im Alttertiär sind wahrscheinlich, aber schlecht belegt
- Bedeutende Bewegungen an den Sockelfugen ereigneten sich in Nordwestdeutschland und in der deutschen Nordsee im Mittel-Miozän

Diese Phasen intensiver Bewegungen an den Sockelstörungen besonders ab Keuper sind gleichzeitig die Zeiten, in denen der Eintritt der verschiedenen Salzstrukturen in die diapirische Phase einsetzte. Die überwiegende Zahl von Salzstöcken in Nordwestdeutschland und dem deutschen Nordsee-Sektor trat entweder während des Unteren oder während des Oberen Gipskeuper in das diapirische Stadium. In Ostdeutschland sind diese "alten" Diapire (Keuper und Jura) die Ausnahme. Die meisten sind in der Unterkreide, besonders aber in der Oberkreide und im Tertiär entstanden.

Auffallend ist, daß es kaum Salzstrukturen gibt, die sich während der im Niedersachsenbecken besonders wirksamen oberkretazischen Kompressionsphase zu Diapiren entwickelten. Vielmehr wurden bestehende, während des Oberjura oder früher entstandene Salzstöcke durch diese Kompressionsbewegungen umgeformt, zerquetscht und es bildeten sich oft riesige Überhänge aus, die eigentlich als Salzüberschiebungen bezeichnet werden müßten. Diese tektonisch überprägten Salzstöcke sind allgemein auch sehr hoch aufgepreßt und bilden einen hohen Prozentsatz innerhalb der hier betrachteten Auswahl. Sie müssen von vornherein aufgrund ihrer zweiphasigen Entstehungsgeschichte als weniger geeignet eingestuft werden.

7 Die Beurteilung der Untersuchungswürdigkeit der Salzstrukturen

Die Unterteilung der Salzstrukturen in "untersuchungswürdige" und "nicht geeignete" Strukturen zur Unterstützung der Suche nach Ersatzstandorten in Norddeutschland zur Endlagerung stark wärmeentwickelnder radioaktiver Abfallstoffe erweist sich als komplex und schwierig, da eine Vielzahl von Kriterien zu berücksichtigen ist, die sich jedoch oft in ihrer positiven oder negativen Wertung widersprechen.

Grundsätzlich sind zu unterscheiden zwischen:

- geologisch-strukturellen, also geogenen Kriterien und
- anthropogenen, also nicht-geogenen Kriterien

7.1 Geologisch-strukturelle Kriterien

7.1.1 Volumetrische Kriterien

positiv zu bewerten sind:

- große Dachfläche im nutzbaren Bereich bis 1000 m unter Flur (min. 9 km²)
- hohe Herauswölbung = geringe Tiefe der Kulmination unter NN
- flache Dachwölbung
- großes nutzbares Volumen unter der Schwebel.

negativ zu bewerten sind:

266519

- kleine Dachfläche
- starke Wölbung des Daches
- tiefliegende Kulmination = Verringerung des nutzbaren Volumens (Strukturen, deren Kulmination tiefer als 500 m u. NN liegt, sind nicht untersuchungswürdig, da, bei Postulierung einer vertikalen Salzscheibe von 300 m unter der Kulmination, nur noch <200 m nutzbares Vertikalvolumen verbleibt).

7.1.2 Kriterien, die auf das Vorhandensein möglichst ungestörter Steinsalzvolumina hinweisen

positiv zu bewerten sind:

- Nachweis mächtiger ungestörter Steinsalzpartien in Bohrungen
- großer Querschnitt
- Flanken gegen die Tiefe divergierend, bzw. nur schwach konvergierend, symmetrisch
- möglichst keine komplex gebauten Überhänge
- flach gewölbtes Dach.

negativ zu bewerten sind:

- Anzeichen von kompressiver Spätbeanspruchung und Überprägung durch Inversionstektonik
- hohe Komplexität des Innenbaues
- Weitreichende, flache Überhänge
- Salzkeile im Nebengebirge
- schmale Stiele
- stark gegen die Tiefe konvergierende Flanken
- asymmetrischer Flankenbau
- geringer Querschnitt
- starke Wölbung des Daches
- deutliche Inversionstektonik in Nachbarbereichen.

Da der Innenbau aller hier untersuchten Salzstrukturen im allgemeinen nicht ausreichend bekannt ist, um Vorhersagen über nutzbare Steinsalzvolumina zu machen, werden indirekte Kriterien angewendet.

Salzstrukturen, die während der Inversionsphase eine Kompressionsbeanspruchung erfahren haben, und sich dazu noch durch sehr dünne abgequetschte Stiele, durch weit ausladende, flache Überhänge und durch Salzkeile im Nebengestein auszeichnen, haben erfahrungsgemäß einen meist hochkomplexen Innenbau, in dem große Volumina nutzbaren reinen Steinsalzes nicht sehr wahrscheinlich sind.

7.1.3 Stoffliche Kriterien des Wirtsgesteins

positiv zu bewerten ist:

- Nachweis großer Volumina reinen Steinsalzes, dessen Fließ- und Standfestigkeitsverhalten untersucht ist (möglichst Na₂) (heutiger Stand der Technik und Wissenschaft).

negativ zu bewerten sind:

- Starke Beimengungen nicht-halitischen Materials (Tonstein-Mittel, Anhydrite, Kalisalze), Salinare des höheren Zechstein (z4-7)
- Salinare des Rotliegend in den Diapiren
- Salinare des Oberen Jura.

Die Salze der Oberrotliegend- und Oberjura-Salinare sind in ihrem Standfestigkeitsverhalten bzw. ihren rheologischen Parametern ungenügend untersucht. Ebenso wenig ist bislang das Verhalten der Zwischenmittel unter thermischer Belastung oder ihre Fluid-Konduktivität hinreichend bekannt. Für die Untersuchungen solcher Salinare wäre erheblicher Forschungsaufwand zu treiben, um einen vergleichbaren Forschungstiefgang wie bei den Untersuchungen der Zechsteinsalinare zu erreichen.

Strukturen, die teilweise oder ganz von Nicht-Zechstein-Salinaren aufgebaut werden, sind demnach als weniger untersuchungswürdig zu klassifizieren.

7.1.4 Die Bewertung der Barrierefunktion des Deckgebirges

positiv zu bewerten ist (von oben nach unten abnehmende Qualität) :

- Vollständige Überdeckung des Caprock mit tonigen Unterkreidesedimenten
- Vollständige Überdeckung des Caprock durch Oberkreidesedimente

- Vollständige Überdeckung mit alttertiären Tonen, insbesondere durch den mitteloligozänen Rupelton.

negativ zu bewerten ist:

- Überdeckung mit sandigem Alttertiär ohne Rupelton (am S-Rand des Beckens)
- Überdeckung des Caprock nur mit oberoligozänen, neogenen oder quartären Sedimenten (Süßwasserführung, Kontakt mit den genutzten Grundwasserstockwerken und zur Biosphäre möglich).

7.1.5 Strukturelle Komplikationen im Dachbereich

positiv zu bewerten ist:

- intakte, ungestörte Dachregion mit Decksedimenten.

negativ zu bewerten ist:

- Scheitelstörungen oder Scheitelgräben, vor allem, wenn die Störungen in den Caprock einschneiden
- quartäre Rinnen, die sich tief in die Dachsedimente einschneiden
- Anzeichen von Subrosion im Firstbereich der Struktur.

7.2 Anthropogene Kriterien

7.2.1 Nutzung des potentiellen Wirtskörpers oder seines Umfeldes als Rohstoffquelle

positiv zu bewerten ist:

- eine unverritzte Struktur mit möglichst wenig Bohrungen, die den Salzkörper durchdringen.

negativ zu bewerten ist:

- Kavernenanlagen
- Salzbergwerke
- Solegewinnung
- Nutzung des Daches oder des näheren Umfeldes im Zuge der Rohstoffgewinnung (Erdöl- und Erdgas, Zementrohstoffe, andere Rohstoffe)

- Nachweis der Existenz ausbeutbarer, aber heute nicht gewonnener Rohstoffe als Zukunftsreserve (Kali, Eisenerze, Braunkohle).

7.2.2 Nutzung der Erdoberfläche über der Struktur

positiv zu bewerten sind :

- dünne Besiedlung, land- und forstwirtschaftliche Nutzung

negativ zu bewerten sind:

- Naturparks (zuständig sind die Landesbehörden)
- Natur- und Landschaftsschutzgebiete unterschiedlicher Kategorien (zuständig sind die Landesbehörden)
- Wasserschutz- und Gewinnungsgebiete der verschiedenen Kategorien
- dichte Besiedlung
- industrielle Nutzung
- Militärische Nutzungsgebiete wurden nicht ausgewiesen, da es politische Entscheidungen erfordert, diese als negativ oder positiv zu bewerten
- Eigentums- und Schürfrechte auf Salz und andere Rohstoffe. Diese Fragen fallen nicht in die Kompetenz der BGR
- Wasserüberdeckung durch Flüsse, Seen oder Meere (nicht anthropogene Nutzung).

7.2.3 politische Kriterien

Die Lage der Struktur in den verschiedenen Verwaltungseinheiten ist insofern ein politisches Kriterium, als sich regionale Unterschiede bei rechtlichen oder verwaltungstechnischen Fragen im Zusammenhang mit einem potentiellen Genehmigungsverfahren ergeben können. Die Beurteilung dieser Kriterien liegt außerhalb des Kompetenzbereiches der BGR.

8 Die Anwendung der Kriterien auf die untersuchten Salzstrukturen

(siehe dazu Tabelle 3 - 12)

8.1 Klassifizierung nach volumetrischen Kriterien (siehe Tabellen 3, 4 und 5)

Die Dächer folgender Strukturen besitzen eine geringere Sedimentüberdeckung als die vorgegebenen min 200 m:

BAHNSEN, Teile von GÜLZE-SUMTE, KREMPE, LILIENTHAL, NEUSUSTRUM, OBERLANGER TENGE, VOLKWARDINGEN, WEESEN-LUTTERLOH, WITTINGEN und WREDENHAGEN

Bei folgenden Strukturen liegt die Kulmination der Dachfläche tiefer als die vorgegebenen 500 m u. NN:

JAHRESTEDT, Teile von LOHNE und STEMMEN-OTTER-TODTSHORN

Im tiefsten möglichen Niveau des Endlagerbergwerkes, in 1000 m Tiefe unter Flur, besitzen folgende Salzstrukturen eine geringere Flächenausdehnung als die geforderten ca. 10 km²:

COLBITZ, OBERLANGER-TENGE, SCHNEFLINGEN, VIESEN und ZOBENITZ

8.2 Klassifizierung nach potentiell großen und möglichst ungestörten Steinsalzvolumina (siehe Tabelle 6)

Strukturen mit voraussichtlich stark gestörtem Innenbau ohne ausreichende Steinsalz-Volumina:

BAHNSEN, DEMKER, EITZENDORF, NEUSUSTRUM, TAAKEN, THEDINGHAUSEN, VIESEN, VORHOP, WAHN, WITTINGEN und WREDENHAGEN

Strukturen mit möglicherweise stark gestörtem Innenbau ohne ausreichende Steinsalz-Volumina:

LILIENTHAL, NETZEBAND, OBERLANGER TENGE, SCHNEFLINGEN, STEMMEN-OTTER-TODTSHORN, WEESEN-LUTTERLOH, VOLKWARDINGEN und ZWISCHENAHN

8.3 Klassifizierung nach Alter und Ausbildung der aufbauenden Salinare (siehe Tabelle 7)

Folgende Salzstrukturen enthalten neben Zechsteinsalz auch Rotliegend-Salz:

EISENDORF-GNUTZ, EITZENDORF, HAMDORF, HARSEFELD, HENNSTEDT, KREMPE, SIEK und STERUP

Folgende Salinarstrukturen enthalten nur Oberjura-Salz:

BACCUM, BERSENBRÜCK, BIPPEN, DAMME, HERZLAKE und LOHNE

8.4 Klassifizierung nach den Barriere-Funktionen des Deckgebirges (siehe Tabelle 8)

Folgende Strukturen sind nicht ausreichend durch tonige Schichten der Unterkreide, durch Oberkreide oder Tone des Rupel abgedeckt. Nur von sandigem Alttertiär und Quartär überdeckt sind:

BACCUM, BERSENBRÜCK, BIPPEN, DAMME, COLBITZ, HERZLAKE, LOHNE und ZOBENITZ

Ohne alttertiäre Deckschichten sind:

JARSTEDT, KRAAK, KREMPE, NETZEBAND, NEUSUSTRUM, WREDENHAGEN und ZEHLIN. GÜLZE-SUMTE weist wahrscheinlich lokal Lücken in den alttertiären Deckschichten auf

8.5 Klassifizierung nach strukturellen Komplikationen im Dachbereich (siehe Tabelle 9)

Scheitelgräben bzw. Scheitelstörungen weisen die Dachbereiche folgender Strukturen auf:

BERSENBRÜCK, DAMME, DEMKER, EISENDORF-GNUTZ, EITZENDORF, GÜLZE-SUMTE, HAMDORF, HARSEFELD, HENNSTEDT, KRAAK, KREMPE, KOHNE, LILI-ENTHAL, NEUSUSTRUM, PECKENSEN, SCHNEFLINGEN, SIEK, STEMMEN-OTTER-TODTSHORN, STERUP, TAAKEN, THEDINGHAUSEN, VIESEN, VOLKWARDINGEN, VORHOP, WADDEKATH, WAHN, WEESEN-LUTTERLOH, WERLE, WITTINGEN und ZWISCHENAHN

Quartäre Rinnen weisen auf:

GÜLZE-SUMTE, EITZENDORF, KREMPE, LILI-ENTHAL, STEMMEN-OTTER-TODTSHORN, THEDINGHAUSEN, VIESEN, WEESEN-LUTTERLOH, LILI-ENTHAL und ZEHLIN

Subrosionssenken weisen auf:

BAHNSEN, HARSEFELD, HENNSTEDT, KRAAK, PECKENSEN, SCHNEFLINGEN, STERUP, VIESEN und VORHOP

8.6 Anderweitige Nutzung des Wirkkörpers oder seines Umfeldes (siehe Tabelle 10)

Folgende Strukturen bzw. ihr Umfeld werden bereits anderweitig genutzt bzw. es ist eine Nutzung geplant:

Kavernen:

HARSEFELD, KRAAK (geplant), PECKENSEN (geplant)

Kohlenwasserstoffgewinnung:

BAHNSEN, OBERLANGER TENGE, PECKENSEN, TAAKEN und WITTINGEN

8.7 Klassifizierung nach Oberflächennutzung (siehe Tabelle 11)

Zu 100 % in Natur- und Landschaftsschutzgebieten liegen die Strukturen:

SIEK, STEMMEN-OTTER-TODTSHORN und WEESEN-LUTTERLOH

zu > 50 % in Natur- und Landschaftsschutzgebieten liegen die Strukturen:

BERSENBRÜCK, DAMME, EISENDORF-GNUTZ, PECKENSEN und VORHOP,

zu 100 % in Wasserschutzgebieten liegen die Strukturen:

BACCUM, COLBITZ und WEESEN-LUTTERLOH

zu > 50 % in Wasserschutzgebieten liegen die Strukturen

VIESEN, VOLKWARDINGEN, VORHOP und WITTINGEN

> 25 % der Fläche ist bei folgenden Strukturen überbaut:

BACCUM, DAMME und LILIENTHAL

8.8 Klassifizierung nach Bundesländern (siehe Tabelle 12)

Von den untersuchten Strukturen liegen 22 in Niedersachsen bzw. z.T. im Stadtstaat Bremen, 6 in Schleswig-Holstein, 3 in Mecklenburg-Vorpommern, 5 in Brandenburg und 6 in Sachsen-Anhalt.

7 9 Schlußfolgerungen

Die in Kap. 8 angestellten Betrachtungen zeigen, daß keine der untersuchten Strukturen bei Vorgabe der in Kap. 2 aufgeführten Auswahlkriterien und bei Vorgabe des Bergwerkskonzeptes alle Anforderungen optimal erfüllt. Es muß allerdings auch konstatiert werden, daß für die Einschätzung einzelner Parameter der einen oder anderen Struktur gegenwärtig der Kenntnisstand für eine hinreichend untermauerte Vorauswahl nicht ausreicht, weil die erforderlichen geologischen Informationen fehlen (Bohrungen, Qualitätsseismik).

Ein „Ranking“ der untersuchten Strukturen erscheint gegenwärtig nicht sinnvoll, weil dies ein „Ranking“ der Vorauswahlkriterien voraussetzt, das bisher fehlt. Nach den vorliegenden Untersuchungen können zwar einige Strukturen aus der Ersatzliste gestrichen werden, bei denen entscheidende Kriterien nicht erfüllt sind. Die übrigen Strukturen sollten jedoch als ungewichtete gleichrangige Reserve betrachtet werden.

Um diese Reserve an Ersatzstandorten immer auf dem erforderlichen aktuellen geologischen Kenntnisstand zu halten, sollten seitens der BGR in angemessenen Abständen neue Erkenntnisse eingearbeitet werden. Dies kann nur auf einer sorgfältig aufgebauten digitalen Basis erreicht werden, die für Ostdeutschland in ihren Anfängen bereits existiert, in Westdeutschland aber erst erstellt werden müßte.

Da die Untersuchungen gezeigt haben, daß bei weiterführenden Arbeiten neue, bislang verborgen gebliebene Probleme auftreten können und andererseits Negativ-Kriterien plötzlich an Gewicht verlieren, sollten in Ostdeutschland die regionalgeologischen Untersuchungen auf solche Strukturen ausgedehnt werden, die in der Studie 1991 nur knapp aus der Positiv-Bewertung herausgefallen waren. Dies erfordert, wie in Westdeutschland bereits vorliegend, einen Forschungstiefgang, der mit einem regionalen Strukturatlas entsprochen werden könnte.

Möglich ist natürlich auch noch ein ganz anderes Szenario!

Man könnte sich angesichts der nicht gerade sehr positiv zu bewertenden Ausbeute an „untersuchungswürdigen“ Salzstrukturen veranlaßt sehen, von bislang als unverrückbar geltenden Positionen abzugehen:

z.B. könnte man das Bergwerkskonzept aufgeben oder aber den gegenwärtigen Stand der Wissenschaft und Technik nicht mehr als das Maß aller Dinge nehmen.

Das Bergwerkskonzept schließt alle Strukturen aus der Betrachtung aus, deren Dach unter der 500 m-Tiefenbegrenzung liegt, und damit den größten Teil aller in Norddeutschland auftretenden Salzstrukturen. So z.B. die zahlreichen Keupersalzkissen, die große Mengen reines Steinsalz enthalten und über intakte, ideale geologische Barrieren im Dachbereich verfügen. Allerdings liegen ihre Dachregionen insgesamt unterhalb 1000 m unter der Erdoberfläche.

Gleiches gilt für Nicht-Zechsteinsalzstrukturen oder für Bohrloch-Beschickungskonzepte, die allesamt nicht hinreichend diskutiert wurden.

Erst das Abgehen von den alten Konzepten könnte wirkliche alternative Standorte untersuchungswürdig machen und somit eine Fülle neuer Möglichkeiten eröffnen, die auch eine Akzeptanz infolge der herausragenden Barriere-Eigenschaften der Decksedimente erhöhen könnten.

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE

im Auftrage

Dr. W. Stahl
-Direktor u. Professor-

Projektleitung:

Dr. Franz Kockel
Geologiedirektor

Dr. Paul Krull
Geologierat

Sachbearbeiter:

Martina Fischer
techn. Angestellte

Ursula Frisch
techn. Angestellte

Dr. Wolf Heßmann
wiss. Angestellter

Dr. Horst Stiewe
wiss. Angestellter

10 Schriftenverzeichnis

- BAUER, G. (1991): Kryogene Klüfte in norddeutschen Salzdiapiren? - Zbl. Geol. Paläont., Teil I, 1991, 4: 1247-1261, 9 Abb.; Stuttgart
- BEST, G., BORNEMANN, O., KOCKEL, F. & LEYDECKER, G. (1982): Bewertung von Salzformationen außerhalb Niedersachsens für die Errichtung von Endlagern. - Unveröff. Bericht BGR, Archiv-Nr. 92 433: 48 S., 1 Anhang, 6 Anl.; Hannover
- BEST, G. (1986): Die Grenze Buntsandstein/Zechstein nach Bohrlochmessungen (Gamma Ray und Sonic Log) im Nordwestdeutschen Becken. - Unveröff. Bericht BGR, Archiv-Nr. 98 933: S., 58 Anl.; Hannover
- BINOT, F., GERLING, P., HILTMANN, W., KOCKEL, F. & WEHNER, H. (1988): Genese und Migration von Erdölen im Niedersächsischen Becken (östlicher Teil). Entwicklung einer integrierten geologisch-geochemischen Explorationsmethode auf Kohlenwasserstoffe. - Unveröff. Bericht BGR, Archiv-Nr. 103 853: 60 S., 31 Abb., 99 Anl.; Hannover
- BINOT, F., GERLING, P., HILTMANN, W., KOCKEL, F. & WEHNER, H. (1989): Genese und Migration von Erdölen im Niedersächsischen Becken (westlicher Teil). Entwicklung einer integrierten geologisch-geochemischen Explorationsmethode auf Kohlenwasserstoffe. - Unveröff. Bericht BGR, Archiv-Nr. 106 255: 54 S., 21 Abb., 120 Anl.; Hannover
- v. BÜLOW, W. (1967): Zur Quartärbasis in Mecklenburg. - Ber. dt. Ges. geol. Wiss. A, Geol. u. Paläontol., 12, 3: 405-413, 3 Abb.; Berlin
- DULCE, G., HARMS, F. & KATSCHOREK, T. & KOCKEL, F. (1993): Paläogeographie und synsedimentäre Tektonik im Oberjura des Niedersachsenbeckens; Abschlußbericht DFG-Projekt Ko 499/2-1. - Unveröff. Bericht BGR, Archiv-Nr. 110 820: 112 S., 47 Anl.; Hannover
- DUPHORN, K. (1986): Das subrosive Sicherheitsrisiko bei der geplanten Endlagerung von radioaktiven Abfällen im Salzstock Gorleben aus quartärgeologischer Sicht. - Z. dt. geol. Ges., 137: 105-120, 5 Abb.; Hannover
- EISSMANN, L. & MÜLLER, A. (1979): Leitlinien der Quartärentwicklung im Norddeutschen Tiefland. - Z f. geol. Wiss. 4, 3 Abb.; Berlin
- FRISCH, U. & KOCKEL, F. (1993): Geotektonischer Atlas von Nordwestdeutschland: Das Tertiär 1:100 000/1:300 000. - Unveröff. Bericht BGR, Archiv-Nr. 110 084: 24 S., 189 Anl.; Hannover
- GEBHARDT, U. & PASTERNAK, M. (1993): Stratigraphische Neubearbeitung des sedimentären Rotliegendes des Norddeutschen Beckens. - Unveröff. Bericht NLFb, Archiv-Nr. 111 734: 24 S., 2 Abb., 3 Tab., 29 Anl.; Hannover

- GAERTNER, H. & RÖHLING, H.-G. (1993): Zur lithostratigraphischen Gliederung und Paläogeographie des Mittleren Muschelkalks im Nordwestdeutschen Becken. - in: HAGEDORN & SEILACHER (Hgb.): Muschelkalk - Schönthaler Symposium 1991: 85-103, 15 Abb.; Stuttgart
- GLÄSER (1983): Karten der Temperatur-Tiefenverteilung für das Territorium der DDR als Grundlage für die Höffigkeitsabschätzung „Geothermischer Energie“. - Unveröff. Bericht Archiv der DDR, ZIPE, 33 Anl., 19 Abb.; Potsdam
- HEDEMANN, H.-A. & PAPROTH, E. (1991): Ein Devon-Salinar im Unterelbe-Nordseegebiet als Ursprung der Rotliegend-Salze?. - DGMK-Berich, 468: 53-74, 5 Abb.; Hamburg
- JARITZ, W. (1983): Eignung von Salzstöcken in Niedersachsen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle. - Unveröff. Bericht BGR, Archiv-Nr. 94 770: 20 S., 1 Anhang, 1 Anl.; Hannover
- JARITZ, W., BEST, G., HILDEBRAND, G. & JÜRGENS, U. (1979): Regionale Analyse der seismischen Geschwindigkeiten in Nordwestdeutschland.- Unveröff. Bericht BGR, Archiv-Nr. 82 954: 37 S., 53 Anl.; Hannover
- JARITZ, W., BEST, G., HILDEBRAND, G. & JÜRGENS, U. (1991): Regionale Analyse der seismischen Geschwindigkeiten in Nordwestdeutschland. - Geol. Jb., E 45: 23-57, 25 Abb., 1 Tab., 4 Taf.; Hannover
- KOCKEL, F. (1979): Erläuterungen zum Salznutzungsplan. - Unveröff. Bericht BGR, Archiv-Nr. 83 182: 42 S., 1 Anl., 15 Abb., 6 Tab.; Hannover
- KOCKEL, F. et al. (1985): Geotektonischer Atlas von Nordwestdeutschland, Abschlußbericht. - Unveröff. Bericht BGR, Archiv-Nr. 98 866: 68 S., 74 Abb., 3 Tab., 4 Anl.; Hannover
- KRULL, P. (1991): Bewertung der Salzformationen der Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen-Anhalt und Thüringen für die Errichtung von Endlagern wärmeentwickelnder Abfälle. - Unveröff. Bericht BGR/ABerlin, Archiv Nr. 2024209: 133 S., 7 Abb., 3 Anl.; Berlin
- KRULL, P. (1993): Endlagerung stark wärmeentwickelnder Abfälle in Salinarstrukturen. - Struktur Gülze-Sumte. - Unveröff. Bericht BGR, BGR/ABerlin Archiv Nr.***** , 22 Anl.; Berlin
- KUSTER, H. & MEYER, K.-D. (1979): Glaziäre Rinnen im mittleren und nordöstlichen Niedersachsen. - Eiszeitalter und Gegenwart, 29: 135-156, 5 Abb., 3 Tab.; 1 Kt.; Hannover
- LEYDECKER, G. & HARJES, H. P. (1978): Seismische Kriterien zur Standortauswahl kern-technischer Anlagen (mit einem Katalog der Erdbeben der BRD mit Randgebieten für die Jahre 1000 - 1974). - Unveröff. Bericht BGR, Archiv-Nr. 81 577 (Abschlußbericht RS 170); Hannover
- LEYDECKER, G. (1980): Erdbeben in Nord-Deutschland. - Z. dt. geol. Ges., 131: 547-555; Hannover

- LEYDECKER, G. & STEINWACHS, M.. (1980): Das Erdbeben vom 2. Juni 1977 in der norddeutschen Tiefebene bei Soltau. - Geol. Jb., **E 18**: 18 S., 5 Abb., 3 Tab.; Hannover
- LEYDECKER, G. (1986): Erdbebenkatalog für die Bundesrepublik Deutschland mit Randgebieten für die Jahre 1000 - 1981. - Geol. Jb., **E 36**, 83 S., 7 Abb., 2 Tab.; Hannover
- LEYDECKER, G. (1994): im Druck
- MEINHOLD, R. (1956): Bemerkungen zur Frage des Salzaufstieges. - Freiburger Forschungshefte, **C 22**: 65-67; Berlin
- MEINHOLD, R. (1959): Salzbewegung und Tektonik in Norddeutschland. - Ber. geol. Ges. DDR, **4**: 157-168; Berlin
- REINHARDT, H.-G. (1968): Bohrlochseismische Geschwindigkeiten im Nordteil der DDR. - Geophysik und Geologie, **12**: 67-82, 15 Abb.; Leipzig
- RICHTER-BERNBURG, G. (1953): Stratigraphische Gliederung des deutschen Zechsteins. - Z. dt. geol. Ges., **105**: 843-854; Hannover
- RICHTER-BERNBURG, G. & SCHOTT, W. (1959): Die nordwestdeutschen Salzstöcke und ihre Bedeutung für die Bildung der Erdöllagerstätten. - Erdöl & Kohle, **12**: 294-303; Hamburg
- RÖHLING, H.-G. (1991): A lithostratigraphic subdivision of the Early riassic in the North West German Lowlands and the German sector of the North Sea, based on Gamma Ray and Sonic Logs. - Geol. Jb., **A 119**: 3-24, 1 fig., 12 plates; Hannover
- RUTHSATZ, H. (1979-82): Verbreitung, struktureller Bau und Tiefenlage der Quartärbasis im Nordteil der DDR - 1. Teilbericht 1979, 2. Teilbericht 1982. - Unveröff. Bericht ZGI; Berlin
- RUTHSATZ, H. (1990): Verbreitung, struktureller Bau und Tiefenlage der Quartärbasis im Nordteil der DDR. - 5. unvollend. Teilbericht. - Unveröff. Bericht ZGI; Berlin
- RUTHSATZ, H. & BACH, D. (1981): Verbreitung, struktureller Bau und Tiefenlage der Quartärbasis im Nordteil der DDR - 3. Teilbericht Ostteil und Westteil. - Unveröff. Bericht ZGI; Berlin
- SANNEMANN, D. (1963): Über Salzstock-Familien in Nordwestdeutschland. - Erdöl-Zt., **79**, 11: 499-506; Hamburg
- SCHACHL, E. (1968): Mine Mariagluck, Höfer. - Intern. Symposium Geol. Saline deposits, Excursion guide: 3 S.; Hannover

SCHULZ, R. & WERNER, (1990)

TRUSHEIM, F. (1957): Über Halokinese und ihre Bedeutung für die strukturelle Entwicklung Norddeutschlands. - Z. dt. geol. Ges., **110**: 111-158, 14 Abb.; Hannover

TRUSHEIM, F.(1972): Zur Bildung der Salzlager im Rotliegend und Mesozoikum Mitteleuropas. - Geol. Jb., **112**: 51 S., 10 Abb., 2 Tab., 6 Taf.; Hannover

ZIEGENHARDT, W., SCHÖN, W. & GLICH, W. (1980): Einige Ergebnisse der strukturgeologischen Erkundung von Untergrundspeichern. - Z. angewandte Geol., **26**,4: 165-171, 6 Abb.; Berlin

Salzstrukturen, nach der Höhe der Kulmination geordnet

Name	Kulmination u. NN
Krempe	030 m
Weesen-Lutterloh	049 u. 100 m (2)''
Wrendenhagen	070 m
Gülze-Sumte	111 u. 214 m (2)''
Colbitz	140 m
Oberlanger Tenge	140 m
Volkwardingen	150 m
Bahnsen	160 m
Neusustrum	180 m
Lilienthal	183 m
Wittingen	190 m
Bersenbrück (Alfhausen)	200 m
Damme	200 m
Netzeband	200 m
Siek	200 m
Vorhop	200 m
Zechlin	200 m
Peckensen	200 u. 250 m (2)''
Taaken	200 u. 250 m (2)''
Eisendorf-Gnutz	200 u. 480 m (2)''
Bippen (Ohrte)	200-500 m'
Zobbenitz	219 m
Harsefeld	240 m
Schneflingen	240 m
Kraak	249 m
Sterup	260 m
Thedinghausen	275 u. 380 m (3)''
Wahn	290 m (2)''
Zwischenahn	290 u. 380 m (2)''
Baccum	300-500 m'
Lohne	300-800 m'
Viesen	309 m
Herzlake (Haselünne)	340-500 m'
Demker	350 m
Hamdorf	350 m
Waddekath	353 m
Eitzendorf	389 m
Hennstedt	390 m (2)''
Werle	511 m
Stemmen-Otter-Todtshorn	600 m (3)''
Jahrstedt	607 m

' = geneigte Dachfläche ohne Kulmination
'' = Anzahl der Kulminationen

Tabelle 4

Salzstrukturen, nach der Größe der Dachfläche geordnet

Name	Dachfläche im km ²	Fläche 300 m u. Kulmination	Fläche 1000 m unter Flur
Eisendorf-Gnutz	114,0 km ²	65,0 km ²	92,0 km ²
Hennstedt	103,0 km ²	58,5 km ²	70,0 km ²
Stemmen-Otter-Todtshorn	090,0 km ²	25,5 km ²	43,0 km ²
Hamdorf	088,0 km ²	18,0 km ²	48,0 km ²
Zwischenahn	069,0 km ²	38,0 km ²	26,0 km ²
Krempe	065,0 km ²	26,5 km ²	62,0 km ²
Bersenbrück (Alfhausen)	058,0 km ²	58,0 km ²	58,0 km ²
Gülze-Sumte	055,0 km ²	60,0 km ²	90,0 km ²
Bippen (Ohrte)	052,0 km ²	52,0 km ²	52,0 km ²
Lilienthal	050,5 km ²	20,0 km ²	38,0 km ²
Harsefeld	050,0 km ²	37,0 km ²	40,0 km ²
Weesen-Lutterloh	044,0 km ²	15,5 km ²	40,5 km ²
Peckensen	043,8 km ²	46,0 km ²	42,0 km ²
Volkwardingen	043,0 km ²	14,0 km ²	25,0 km ²
Wahn	040,0 km ²	23,0 km ²	36,5 km ²
Lohne	038,0 km ²	38,0 km ²	38,0 km ²
Werle	038,0 km ²	40,0 km ²	40,0 km ²
Taaken	031,0 km ²	12,0 km ²	23,0 km ²
Herzlake (Haselünne)	030,0 km ²	30,0 km ²	30,0 km ²
Bahnsen	026,0 km ²	11,0 km ²	21,0 km ²
Vorhop	026,0 km ²	23,0 km ²	21,0 km ²
Sterup	025,5 km ²	15,3 km ²	25,5 km ²
Kraak	025,0 km ²	23,5 km ²	11,2 km ²
Eitzendorf	023,0 km ²	06,5 km ²	13,0 km ²
Thedinghausen	017,7 km ²	09,0 km ²	11,0 km ²
Demker	017,5 km ²	17,5 km ²	37,5 km ²
Waddekath	016,8 km ²	16,8 km ²	16,8 km ²
Neusustrum	016,0 km ²	03,0 km ²	15,0 km ²
Baccum	015,0 km ²	15,0 km ²	15,0 km ²
Damme	015,0 km ²	15,0 km ²	15,0 km ²
Siek	015,0 km ²	06,5 km ²	14,0 km ²
Zechlin	014,4 km ²	14,8 km ²	16,0 km ²
Netzeband	014,0 km ²	14,9 km ²	14,1 km ²
Wittingen	014,0 km ²	08,0 km ²	12,0 km ²
Wrendenhagen	012,5 km ²	12,0 km ²	11,0 km ²
Zobbenitz	012,0 km ²	16,0 km ²	--- km ²
Jahrstedt	010,5 km ²	11,0 km ²	14,4 km ²
Oberlanger Tenge	010,5 km ²	10,0 km ²	08,5 km ²
Colbitz	009,5 km ²	11,0 km ²	07,8 km ²
Viesen	009,1 km ²	09,1 km ²	06,5 km ²
Schneflingen	007,2 km ²	06,0 km ²	09,0 km ²

Tabelle 5

Salzstrukturen, nach der Größe der nutzbaren Fläche geordnet

266535

Name	Fläche 1000 m unter Flur	Fläche 300 m un- ter Kulmination	Dachfläche insgesamt
Zobbenitz	--,- km ²	16,0 km ²	12,0 km ²
Viesen	06,5 km ²	09,1 km ²	09,1 km ²
Colbitz	07,8 km ²	11,0 km ²	09,5 km ²
Oberlanger Tenge	08,5 km ²	10,0 km ²	10,5 km ²
Schneflingen	09,0 km ²	06,0 km ²	07,2 km ²
Wredenhagen	11,0 km ²	12,0 km ²	12,5 km ²
Thedinghausen	11,0 km ²	09,0 km ²	17,7 km ²
Kraak	11,2 km ²	23,5 km ²	25,0 km ²
Wittingen	12,0 km ²	08,0 km ²	14,0 km ²
Eitzendorf	13,0 km ²	06,5 km ²	23,0 km ²
Siek	14,0 km ²	06,5 km ²	15,0 km ²
Netzeband	14,1 km ²	14,9 km ²	14,0 km ²
Jahrstedt	14,4 km ²	11,0 km ²	10,5 km ²
Baccum	15,0 km ²	15,0 km ²	15,0 km ²
Damme	15,0 km ²	15,0 km ²	15,0 km ²
Neusustrum	15,0 km ²	03,0 km ²	16,0 km ²
Zechlin	16,0 km ²	14,8 km ²	14,4 km ²
Waddekath	16,8 km ²	16,8 km ²	16,8 km ²
Bahnsen	21,0 km ²	11,0 km ²	26,0 km ²
Vorhop	21,0 km ²	23,0 km ²	26,0 km ²
Taaken	23,0 km ²	12,0 km ²	31,0 km ²
Volkwardingen	25,0 km ²	14,0 km ²	43,0 km ²
Sterup	25,5 km ²	15,3 km ²	25,5 km ²
Zwischenahn	26,0 km ²	38,0 km ²	69,0 km ²
Herzlake (Haselünne)	30,0 km ²	30,0 km ²	30,0 km ²
Wahn	36,5 km ²	23,0 km ²	40,0 km ²
Demker	37,5 km ²	17,5 km ²	17,5 km ²
Lilienthal	38,0 km ²	20,0 km ²	50,5 km ²
Lohne	38,0 km ²	38,0 km ²	38,0 km ²
Werle	40,0 km ²	40,0 km ²	38,0 km ²
Harsefeld	40,0 km ²	37,0 km ²	50,0 km ²
Weesen-Lutterloh	40,5 km ²	15,5 km ²	44,0 km ²
Peckensen	42,0 km ²	46,0 km ²	43,8 km ²
Stemmen-Otter-Todtshorn	43,0 km ²	25,5 km ²	90,0 km ²
Hamdorf	48,0 km ²	18,0 km ²	88,0 km ²
Bippen (Ohrte)	52,0 km ²	52,0 km ²	52,0 km ²
Bersenbrück (Alfhausen)	58,0 km ²	58,0 km ²	58,0 km ²
Krempe	62,0 km ²	26,5 km ²	65,0 km ²
Hennstedt	70,0 km ²	58,5 km ²	103,0 km ²
Gülze-Sumte	90,0 km ²	60,0 km ²	55,0 km ²
Eisendorf-Gnutz	92,0 km ²	65,0 km ²	114,0 km ²

Tabelle 6

266536

Salzstrukturen, nach möglichen Komplikationen
im Innenbau geordnet

Name	Inversions- anzeichen	Überhänge	Salzkeile	Sockelstörung
Hamdorf	nein	nein	nein	ja
Krempe	nein	nein	nein	ja
Sterup	nein	nein	nein	ja
Siek	nein	nein	nein	ja
Zobbenitz	nein	nein	nein	nein
Jahrstedt	nein	nein	nein	ja
Colbitz	nein	nein	nein	nein
Gülze-Sumte	nein	leicht	nein	ja
Werle	nein	leicht	nein	nein
Kraak	nein	leicht	nein	nein
Waddekath	nein	leicht	nein	nein
Zechlin	nein	leicht	nein	ja
Wrendenhagen	nein	leicht	nein	nein
Netzband	nein	leicht	ja	ja
Eisendorf-Gnutz	nein	ja	nein	ja
Hennstedt	nein	ja	nein	ja
Harsefeld	nein	ja	nein	ja
Peckensen	nein	ja	nein	ja
Bersenbrück (Alfhausen)	leicht	nein	nein	ja
Bippen (Ohrte)	leicht	nein	nein	ja
Lohne	leicht	nein	nein	ja
Herzlake (Haselünne)	leicht	nein	nein	ja
Baccum	leicht	nein	nein	ja
Damme	leicht	nein	nein	ja
Demker	ja	nein	nein	ja
Viesen	ja	nein	ja	ja
Stemmen-Otter-Todtshorn	ja	ja	nein	ja
Zwischenahn	ja	ja	nein	ja
Lilienthal	ja	ja	nein	ja
Weesen-Lutterloh	ja	ja	nein	ja
Volkwardingen	ja	ja	nein	ja
Oberlanger Tenge	ja	ja	nein	?
Schneflingen	ja	ja	nein	ja
Wahn	ja	ja	ja	ja
Taaken	ja	ja	ja	ja
Bahnsen	ja	ja	ja	ja
Vorhop	ja	ja	ja	ja
Eitzendorf	ja	ja	ja	ja
Thedinghausen	ja	ja	ja	ja
Neusustrum	ja	ja	ja	ja
Wittingen	ja	ja	ja	ja

Salzstrukturen, nach der stratigraphischen
Zuordnung ihrer Salinare geordnet

266537

Name	Salinare
Bahnsen	z
Colbitz	z
Demker	z
Gülze-Sumte	z
Jahrstedt	z
Kraak	z
Lilienthal	z
Netzeband	z
Neusustrum	z
Oberlanger Tenge	z
Peckensen	z
Schneflingen	z
Stemmen-Otter-Todtshorn	z
Taaken	z
Thedinghausen	z
Viesen	z
Volkwardingen	z
Vorhop	z
Waddekath	z
Wahn	z
Weesen-Lutterloh	z
Werle	z
Wittingen	z
Wrendenhagen	z
Zechlin	z
Zobbenitz	z
Zwischenahn	z
Eisendorf-Gnutz	ro, z
Eitzendorf	ro, z
Hamdorf	ro, z
Harsefeld	ro, z
Hennstedt	ro, z
Krempe	ro, z
Siek	ro, z
Sterup	ro, z
Baccum	jo
Bersenbrück (Alfhausen)	jo
Bippen (Ohrte)	jo
Damme	jo
Herzlake (Haselünne)	jo
Lohne	jo

Tabelle 8: Salzstrukturen, geordnet nach der Qualität der Barrieren

Name	vollständige Über- deckung durch kru	vollständige Über- deckung durch kro	vollständige Über- deckung durch tpg	vollständige Über- deckung durch tng
Eisendorf-Gnutz	ja	ja	nein	nein
Hamdorf	ja	ja	nein	nein
Wahn	ja (Wd)	nein	ja	ja
Lilienthal	nein	ja	ja	nein
Siek	nein	ja	ja	nein
Stemmen-Otter-Todtshorn	nein	ja	ja	ja
Taaken	nein	ja	ja	ja
Thedinghausen	nein	ja	ja	ja
Weesen-Lutterloh	nein	ja	ja	nein
Zwischenahn	nein	ja	ja	nein
Hennstedt	nein	ja	nein	nein
Sterup	nein	ja	nein	nein
Baccum	nein	nein	ja	nein
Bersenbrück (Alfhausen)	nein	nein	ja	nein
Bippen (Ohrte)	nein	nein	ja	nein
Damme	nein	nein	ja	nein
Demker	nein	nein	ja	nein
Eitzendorf	nein	nein	ja	nein
Herzlake (Haselünne)	nein	nein	ja	ja
Lohne	nein	nein	ja	nein
Schneflingen	nein	nein	ja	nein
Viesen	nein	nein	ja	nein
Volkwardingen	nein	nein	ja	nein
Waddekath	nein	nein	ja	ja
Werle	nein	nein	ja	ja
Harsefeld	nein	nein	ja	ja
Vorhop	nein	nein	ja	nein
Wittingen	nein	nein	ja	nein
Peckensen	nein	nein	ja	nein
Bahnsen	nein	nein	ja	nein
Oberlanger Tenge	nein	nein	ja	ja
Colbitz	nein	nein	ja*	nein
Zobbenitz	nein	nein	ja*	nein
Gülze-Sumte	nein	nein	nein	ja
Jahrstedt	nein	nein	nein	nein
Krempe	nein	nein	nein	nein
Netzeband	nein	nein	nein	ja
Neusustrum	nein	nein	nein	ja
Wrendenhagen	nein	nein	nein	ja
Zechlin	nein	nein	nein	ja
Kraak	nein	nein	nein	nein

ja* = Rupelton fehlt

Tabelle 9

Salzstrukturen, nach Komplikationen in den Decksedimenten geordnet

259
266539

Name	Rinnen	Subrosionssenke	Scheitel gestört
Zobbenitz	nein	nein	nein
Jahrstedt	nein	nein	nein
Colbitz	nein	nein	nein
Wrendenhagen	nein	nein	nein
Netzeband	nein	nein	nein
Bippen (Ohrte)	nein	nein	nein
Herzlake (Haselünne)	nein	nein	nein
Baccum	nein	nein	nein
Oberlanger Tenge	nein	nein	nein
Hamdorf	nein	nein	ja
Siek	nein	nein	ja
Werle	nein	nein	ja
Waddekath	nein	nein	ja
Eisendorf-Gnutz	nein	nein	ja
Bersenbrück (Alfhausen)	nein	nein	ja
Lohne	nein	nein	ja
Damme	nein	nein	ja
Demker	nein	nein	ja
Zwischenahn	nein	nein	ja
Volkwardingen	nein	nein	ja
Wahn	nein	nein	ja
Taaken	nein	nein	ja
Neusustrum	nein	nein	ja
Wittingen	nein	nein	ja
Bahnsen	nein	ja	nein
Sterup	nein	ja	ja
Kraak	nein	ja	ja
Hennstedt	nein	ja	ja
Harsefeld	nein	ja	ja
Peckensen	nein	ja	ja
Schneflingen	nein	ja	ja
Vorhop	nein	ja	ja
Zechlin	ja	nein	nein
Gülze-Sumte	ja	nein	ja
Stemmen-Otter-Todtshorn	ja	nein	ja
Lilienthal	ja	nein	ja
Weesen-Lutterloh	ja	nein	ja
Eitzendorf	ja	nein	ja
Thedinghausen	ja	nein	ja
Krempe	ja	ja	ja
Viesen	ja	ja	ja

Untertägige Nutzung

Name	Untertägige Nutzung
Baccum	nein
Bersenbrück (Alfhausen)	nein
Bippen (Ohrte)	nein
Colbitz	nein
Damme	nein
Demker	nein
Eisendorf-Gnutz	nein
Eitzendorf	nein
Gülze-Sumte	nein
Hamdorf	nein
Hennstedt	nein
Herzlake (Haselünne)	nein
Jahrstedt	nein
Krempe	nein
Lilienthal	nein
Lohne	nein
Netzeband	nein
Neusustrum	nein
Schneflingen	nein
Siek	nein
Stemmen-Otter-Todtshorn	nein
Sterup	nein
Taaken	nein
Thedinghausen	nein
Viesen	nein
Volkwardingen	nein
Waddekath	nein
Wahn	nein
Weesen-Lutterloh	nein
Werle	nein
Wrendenhagen	nein
Zechlin	nein
Zobbenitz	nein
Zwischenahn	nein
Harsefeld	Kavernenfelder
Kraak	Kavernen geplant
Vorhop	Erdöl
Wittingen	Erdöl
Peckensen	Erdgas, Speicher geplant
Bahnsen	Erdgas
Oberlanger Tenge	Erdgas

Tabelle 11: Salzstrukturen, nach konkurrierender Oberflächennutzung geordnet

Name	Dachfläche	Naturschutz	%	Wasserschutz	%	dichte Bebauung	%
Oberlanger Tenge	10,5 km ²	0,0 km ²	000,0 %	0,0 km ²	000,0 %	0,0 km ²	000,0 %
Wredenhagen	12,5 km ²	0,0 km ²	000,0 %	0,0 km ²	000,0 %	0,0 km ²	000,0 %
Kraak	25,0 km ²	0,0 km ²	000,0 %	0,0 km ²	000,0 %	0,0 km ²	000,0 %
Waddekath	16,8 km ²	0,0 km ²	000,0 %	0,0 km ²	000,0 %	0,2 km ²	001,2 %
Zobbenitz	12,0 km ²	0,0 km ²	000,0 %	0,0 km ²	000,0 %	0,2 km ²	001,6 %
Demker	17,5 km ²	0,0 km ²	000,0 %	0,0 km ²	000,0 %	0,3 km ²	001,7 %
Jahrstedt	10,5 km ²	0,0 km ²	000,0 %	0,0 km ²	000,0 %	0,4 km ²	003,8 %
Wahn	40,0 km ²	0,0 km ²	000,0 %	0,0 km ²	000,0 %	3,0 km ²	007,5 %
Neusustrum	16,0 km ²	0,0 km ²	000,0 %	0,0 km ²	000,0 %	1,5 km ²	009,3 %
Herzlake (Haselünne)	30,0 km ²	0,0 km ²	000,0 %	0,0 km ²	000,0 %	4,0 km ²	013,3 %
Thedinghausen	17,7 km ²	0,0 km ²	000,0 %	0,0 km ²	000,0 %	2,5 km ²	014,1 %
Netzeband	14,0 km ²	0,0 km ²	000,0 %	0,0 km ²	000,0 %	1,2 km ²	014,4 %
Taaken	31,0 km ²	0,0 km ²	000,0 %	0,0 km ²	000,0 %	5,0 km ²	016,1 %
Sterup	25,5 km ²	0,0 km ²	000,0 %	0,0 km ²	000,0 %	5,0 km ²	019,6 %
Gülze-Sumte	55,0 km ²	0,0 km ²	000,0 %	1,8 km ²	003,0 %	0,8 km ²	001,5 %
Werle	38,0 km ²	0,0 km ²	000,0 %	2,0 km ²	005,7 %	1,5 km ²	003,9 %
Schneflingen	07,2 km ²	0,0 km ²	000,0 %	1,5 km ²	020,8 %	1,0 km ²	013,8 %
Viesen	09,1 km ²	0,0 km ²	000,0 %	4,6 km ²	050,0 %	1,0 km ²	011,0 %
Wittingen	14,0 km ²	0,0 km ²	000,0 %	8,0 km ²	057,1 %	1,5 km ²	010,7 %
Colbitz	09,5 km ²	0,0 km ²	000,0 %	9,5 km ²	100,0 %	0,2 km ²	001,7 %
Baccum	15,0 km ²	0,0 km ²	000,0 %	15,0 km ²	100,0 %	4,0 km ²	026,7 %
Hennstedt	103,0 km ²	2,5 km ²	002,4 %	28,0 km ²	027,2 %	20,5 km ²	019,9 %
Hamdorf	88,0 km ²	3,0 km ²	003,4 %	0,0 km ²	000,0 %	11,0 km ²	012,5 %
Krempe	65,0 km ²	3,0 km ²	004,6 %	17,5 km ²	026,9 %	6,5 km ²	010,0 %
Eitzendorf	23,0 km ²	2,0 km ²	008,7 %	6,5 km ²	028,2 %	3,5 km ²	015,2 %
Lohne	38,0 km ²	10,0 km ²	026,3 %	0,0 km ²	000,0 %	2,0 km ²	005,3 %
Bippen (Ohrte)	52,0 km ²	14,0 km ²	026,9 %	3,0 km ²	005,7 %	2,0 km ²	003,8 %
Volkwardingen	43,0 km ²	12,0 km ²	027,9 %	30,0 km ²	069,7 %	3,0 km ²	006,9 %
Harsefeld	50,0 km ²	15,0 km ²	030,0 %	0,0 km ²	000,0 %	6,0 km ²	012,0 %
Zechlin	14,4 km ²	6,3 km ²	035,0 %	0,0 km ²	000,0 %	0,0 km ²	000,0 %
Zwischenahn	69,0 km ²	24,5 km ²	035,5 %	7,0 km ²	010,1 %	11,0 km ²	015,9 %
Lilienthal	50,5 km ²	20,0 km ²	040,0 %	0,0 km ²	000,0 %	13,0 km ²	025,7 %
Bahnßen	26,0 km ²	12,0 km ²	046,1 %	0,0 km ²	000,0 %	2,0 km ²	007,6 %
Vorhop	26,0 km ²	13,0 km ²	050,0 %	13,0 km ²	050,0 %	1,5 km ²	005,7 %
Peckensen	43,8 km ²	22,4 km ²	051,1 %	0,0 km ²	000,0 %	2,0 km ²	004,6 %
Eisendorf-Gnutz	114,0 km ²	61,7 km ²	054,1 %	19,0 km ²	016,6 %	16,0 km ²	014,0 %
Bersenbrück (Alfhausen)	58,0 km ²	36,0 km ²	062,0 %	4,0 km ²	006,8 %	6,0 km ²	010,3 %
Damme	15,0 km ²	11,0 km ²	073,3 %	0,0 km ²	000,0 %	4,0 km ²	026,0 %
Siek	15,0 km ²	15,0 km ²	100,0 %	0,0 km ²	000,0 %	3,0 km ²	020,0 %
Stemmen-Otter-Todtshorn	90,0 km ²	90,0 km ²	100,0 %	8,0 km ²	008,8 %	7,0 km ²	007,7 %
Weesen-Lutterloh	44,0 km ²	44,0 km ²	100,0 %	44,0 km ²	100,0 %	8,0 km ²	018,2 %

Tabelle 12: Salzstrukturen, nach Bundesländern geordnet

262

266542

Name	Land
Netzeband	Brandenburg
Viesen	Brandenburg
Wredenhagen	Brandenburg
Zechlin	Brandenburg
Lilienthal	Bremen, Niedersachsen
Kraak	Mecklenburg-Vorpommern
Werle	Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg..
Gülze-Sumte	Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen
Baccum	Niedersachsen
Bahnsen	Niedersachsen
Bersenbrück (Alfhausen)	Niedersachsen
Bippen (Ohrte)	Niedersachsen
Damme	Niedersachsen
Eitzendorf	Niedersachsen
Harsefeld	Niedersachsen
Herzlake (Haselünne)	Niedersachsen
Lohne	Niedersachsen
Neusustrum	Niedersachsen
Oberlanger Tenge	Niedersachsen
Schneflingen	Niedersachsen
Stemmen-Otter-Todtshorn	Niedersachsen
Taaken	Niedersachsen
Thedinghausen	Niedersachsen
Volkwardingen	Niedersachsen
Vorhop	Niedersachsen
Wahn	Niedersachsen
Weesen-Lutterloh	Niedersachsen
Wittingen	Niedersachsen
Zwischenahn	Niedersachsen
Colbitz	Sachsen-Anhalt
Demker	Sachsen-Anhalt
Jahrstedt	Sachsen-Anhalt
Peckensen	Sachsen-Anhalt
Zobbenitz	Sachsen-Anhalt
Waddekath	Sachsen-Anhalt, Niedersachsen
Eisendorf-Gnutz	Schleswig-Holstein
Hamdorf	Schleswig-Holstein
Hennstedt	Schleswig-Holstein
Krempe	Schleswig-Holstein
Siek	Schleswig-Holstein
Sterup	Schleswig-Holstein

Name	Dachfläche	Kulmination	Fläche 300m u. NN	Fläche 1000m u. NN	Salinar- Alter	Ü h
Baccum	015,0 km2	300-500 m'	15,0 km2	15,0 km2	jo	
Bahnsen	026,0 km2	160 m	11,0 km2	21,0 km2	z	
Bersenbrück (Alfhausen)	058,0 km2	200 m	58,0 km2	58,0 km2	jo	
Bippen (Ohrte)	052,0 km2	200-500 m'	52,0 km2	52,0 km2	jo	
Colbitz	009,5 km2	140 m	11,0 km2	07,8 km2	z	
Damme	015,0 km2	200 m	15,0 km2	15,0 km2	jo	
Demker	017,5 km2	350 m	17,5 km2	37,5 km2	z	
Eisendorf-Gnutz	114,0 km2	200 u. 480 m (2)''	65,0 km2	92,0 km2	ro, z	
Eitzendorf	023,0 km2	389 m	06,5 km2	13,0 km2	ro, z	
Gülze-Sumte	055,0 km2	111 u. 214 m (2)''	60,0 km2	90,0 km2	z	1e
Hamdorf	088,0 km2	350 m	18,0 km2	48,0 km2	ro, z	
Harsefeld	050,0 km2	240 m	37,0 km2	40,0 km2	ro, z	
Hennstedt	103,0 km2	390 m (2)''	58,5 km2	70,0 km2	ro, z	
Herzlake (Haselünne)	030,0 km2	340-500 m'	30,0 km2	30,0 km2	jo	
Jahrstedt	010,5 km2	607 m	11,0 km2	14,4 km2	z	
Kraak	025,0 km2	249 m	23,5 km2	11,2 km2	z	1e
Krempe	065,0 km2	030 m	26,5 km2	62,0 km2	ro, z	
Lilienthal	050,5 km2	183 m	20,0 km2	38,0 km2	z	
Lohne	038,0 km2	300-800 m'	38,0 km2	38,0 km2	jo	
Netzeband	030,0 km2	350 m	32,0 km2	21,0 km2	z	1e
Neusustrum	016,0 km2	180 m	03,0 km2	15,0 km2	z	
Oberlanger Tenge	010,5 km2	140 m	10,0 km2	08,5 km2	z	
Peckensen	043,8 km2	200 u. 250 m (2)''	46,0 km2	42,0 km2	z	
Schneflingen	007,2 km2	240 m	06,0 km2	09,0 km2	z	
Siek	015,0 km2	200 m	06,5 km2	14,0 km2	ro, z	
Stemmen-Otter-Todtshorn	090,0 km2	600 m (3)''	25,5 km2	43,0 km2	z	
Sterup	025,5 km2	260 m	15,3 km2	25,5 km2	ro, z	
Taaken	031,0 km2	200 u. 250 m (2)''	12,0 km2	23,0 km2	z	
Thedinghausen	017,7 km2	275 u. 380 m (3)''	09,0 km2	11,0 km2	z	
Viesen	009,1 km2	309 m	09,1 km2	06,5 km2	z	
Volkwardingen	043,0 km2	150 m	14,0 km2	25,0 km2	z	
Vorhop	026,0 km2	200 m	23,0 km2	21,0 km2	z	
Waddekath	016,8 km2	353 m	16,8 km2	16,8 km2	z	1e
Wahn	040,0 km2	290 m (2)''	23,0 km2	36,5 km2	z	
Weesen-Lutterloh	044,0 km2	049 u. 100 m (2)''	15,5 km2	40,5 km2	z	
Werle	038,0 km2	511 m	40,0 km2	40,0 km2	z	1e
Wittingen	014,0 km2	190 m	08,0 km2	12,0 km2	z	
Zechlin	018,0 km2	130 m	18,2 km2	17,3 km2	z	1e
Zobbenitz	012,0 km2	219 m	16,0 km2	--- km2	z	
Zwischenahn	069,0 km2	290 u. 380 m (2)''	38,0 km2	26,0 km2	z	

' = geneigte Dachfläche ohne Kulmination

'' = Anzahl der Kulminationen

Tabelle 13

Salzstrukturen, nach Namen

DOM	Salinar- Alter	Über- hänge	Inversion	Sockel- störungen	Salzkeile	Scheitel- St.u.-Gr.	Rinnen	Subrosion	kru	Vollständige kro	Überdeckung tpg	Überschneidung tng
2	jo	nein	leicht	ja	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	nein
2	z	ja	ja	ja	ja	nein	nein	ja	nein	nein	ja	nein
2	jo	nein	leicht	ja	nein	ja	nein	nein	nein	nein	ja	nein
2	jo	nein	leicht	ja	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	nein
2	z	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja*	nein
2	jo	nein	leicht	ja	nein	ja	nein	nein	nein	nein	ja	nein
2	z	nein	ja	ja	nein	ja	nein	nein	nein	nein	ja	nein
2	ro, z	ja	nein	ja	nein	ja	nein	nein	ja	ja	nein	nein
2	ro, z	ja	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein	ja	nein
2	z	leicht	nein	ja	nein	ja	ja	nein	nein	nein	nein	ja
2	ro, z	nein	nein	ja	nein	ja	nein	nein	ja	ja	nein	nein
2	ro, z	ja	nein	ja	nein	ja	nein	ja	nein	nein	ja	ja
2	ro, z	ja	nein	ja	nein	ja	nein	ja	nein	ja	nein	nein
2	jo	nein	leicht	ja	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja
2	z	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
2	z	leicht	nein	nein	nein	ja	nein	ja	nein	nein	nein	nein
2	ro, z	nein	nein	ja	nein	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein
2	z	ja	ja	ja	nein	ja	ja	nein	nein	ja	ja	nein
2	jo	nein	leicht	ja	nein	ja	nein	nein	nein	nein	ja	nein
2	z	leicht	nein	ja	ja	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja
2	z	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein	nein	ja
2	z	ja	ja	?	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja
2	z	ja	nein	ja	nein	ja	nein	ja	nein	nein	ja	nein
2	z	ja	ja	ja	nein	ja	nein	ja	nein	nein	ja	nein
2	ro, z	nein	nein	ja	nein	ja	nein	nein	nein	ja	ja	nein
2	z	ja	ja	ja	nein	ja	ja	nein	nein	ja	ja	ja
2	ro, z	nein	nein	ja	nein	ja	nein	ja	nein	ja	nein	nein
2	z	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein	ja	ja	ja
2	z	ja	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein	ja	ja	ja
2	z	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein	ja	nein
2	z	ja	ja	ja	nein	ja	nein	nein	nein	nein	ja	nein
2	z	ja	ja	ja	ja	ja	nein	ja	nein	nein	ja	nein
2	z	leicht	nein	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	ja	ja
2	z	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein	ja (Wd)	nein	ja	ja
2	z	ja	ja	ja	nein	ja	ja	nein	nein	ja	ja	nein
2	z	leicht	nein	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	ja	ja
2	z	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein	ja	nein
2	z	leicht	nein	ja	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	nein
2	z	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja*	nein
2	z	ja	ja	ja	nein	ja	nein	nein	nein	ja	ja	nein

Seite 13

Ordnung, nach Namen geordnet

Überdeckung durch tpg			Naturschutz		Wasserschutz		Bebauung		TK 25
tpg	tnp	q	km2	%	km2	%	km2	%	
ja	nein	ja	0,0	000,0	15,0	100,0	4,0	026,7	3410
ja	nein	ja	12,0	046,1	0,0	000,0	2,0	007,6	
ja	nein	ja	36,0	062,0	4,0	006,8	6,0	010,3	3412, 3413, 3414, 3513
ja	nein	ja	14,0	026,9	3,0	005,7	2,0	003,8	3311, 3312, 3411
ja*	nein	ja	0,0	000,0	9,5	100,0	0,2	001,7	
ja	nein	ja	11,0	073,3	0,0	000,0	4,0	026,0	3414, 3415
ja	nein	ja	0,0	000,0	0,0	000,0	0,3	001,7	
nein	nein	ja	61,7	054,1	19,0	016,6	16,0	014,0	1724, 1725, 1824, 1825, 1924
ja	nein	ja	2,0	008,7	6,5	028,2	3,5	015,2	3120
nein	ja	ja	0,0	000,0	1,8	003,0	0,8	001,5	2630, 2631
nein	nein	ja	3,0	003,4	0,0	000,0	11,0	012,5	1722
ja	ja	ja	15,0	030,0	0,0	000,0	6,0	012,0	2522
nein	nein	ja	2,5	002,4	28,0	027,2	20,5	019,9	1620, 1621, 1720, 1721
ja	ja	ja	0,0	000,0	0,0	000,0	4,0	013,3	3310
nein	nein	ja	0,0	000,0	0,0	000,0	0,4	003,8	3431
nein	nein	ja	0,0	000,0	0,0	000,0	0,0	000,0	2533, 2534, 2633
nein	nein	ja	3,0	004,6	17,5	026,9	6,5	010,0	2121, 2122
ja	nein	ja	20,0	040,0	0,0	000,0	13,0	025,7	
ja	nein	ja	10,0	026,3	0,0	000,0	2,0	005,3	3409
nein	ja	ja	0,0	000,0	0,0	000,0	1,2	014,4	2941, 2942, 3041
nein	ja	ja	0,0	000,0	0,0	000,0	1,5	009,3	3008, 3009
ja	ja	ja	0,0	000,0	0,0	000,0	0,0	000,0	
ja	nein	ja	22,4	051,1	0,0	000,0	2,0	004,6	3131
ja	nein	ja	0,0	000,0	1,5	020,8	1,0	013,8	
ja	nein	ja	15,0	100,0	0,0	000,0	3,0	020,0	2327, 2328, 2427
ja	ja	ja	90,0	100,0	8,0	008,8	7,0	007,7	2723, 2724, 2725, 2823, 2824
nein	nein	ja	0,0	000,0	0,0	000,0	5,0	019,6	1224
ja	ja	ja	0,0	000,0	0,0	000,0	5,0	016,1	
ja	ja	ja	0,0	000,0	0,0	000,0	2,5	014,1	2919, 2920, 3019
ja	nein	ja	0,0	000,0	4,6	050,0	1,0	011,0	3639
ja	nein	ja	12,0	027,9	30,0	069,7	3,0	006,9	2825
ja	nein	ja	13,0	050,0	13,0	050,0	1,5	005,7	3329, 3330, 3429
ja	ja	ja	0,0	000,0	0,0	000,0	0,2	001,2	
ja	ja	ja	0,0	000,0	0,0	000,0	3,0	007,5	3009, 3010
ja	nein	ja	44,0	100,0	44,0	100,0	8,0	018,2	3126, 3127
ja	ja	ja	0,0	000,0	2,0	005,7	1,5	003,9	2735, 2736
ja	nein	ja	0,0	000,0	8,0	057,1	1,5	010,7	3230
nein	ja	ja	6,3	035,0	0,0	000,0	0,0	000,0	
ja*	nein	ja	0,0	000,0	0,0	000,0	0,2	001,6	3534
ja	nein	ja	24,5	035,5	7,0	010,1	11,0	015,9	2713, 2714, 2813

266543

	TK 25	TK 100	Bundesland
7	3410, 3510	C 3510	Niedersachsen
6	3028	C 3126	Niedersachsen
3	3412, 3413, 3414, 3513, 3514	C 3510, C 3514	Niedersachsen
8	3311, 3312, 3411, 3412	C 3510	Niedersachsen
7	3635	C 3934	Sachsen-Anhalt
0	3414, 3415, 3514	C 3514	Niedersachsen
7	3537	C 3534	Sachsen-Anhalt
0	1724, 1725, 1824, 1825, 1924, 1925	C 1922	Schleswig-Holstein
2	3120, 3121	C 3118	Niedersachsen
5	2630, 2631, 2731	C 2730	Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen
5	1722, 1723	C 1922	Schleswig-Holstein
0	2522, 2523	C 2722	Niedersachsen
9	1620, 1621, 1720, 1721, 1820	C 1918	Schleswig-Holstein
3	3310, 3311	C 3510	Niedersachsen
8	3431, 3432	C 3530	Sachsen-Anhalt
0	2533, 2534, 2633, 2634	C 2730, C 2734	Mecklenburg-Vorpommern
0	2121, 2122, 2222	C 2318, C 2322	Schleswig-Holstein
7	2819	C 3118	Bremen, Niedersachsen
3	3409, 3509	C 3506	Niedersachsen
4	2941, 2942, 3041, 3042	C 3138, C 3143	Brandenburg
3	3008, 3009, 3109	C 3108	Niedersachsen
0	3109	C 3108	Niedersachsen
5	3131, 3231	C 3139, C 3530	Sachsen-Anhalt
8	3330	C 3530	Niedersachsen
0	2327, 2328, 2427, 2428	C 2326, C 2726	Schleswig-Holstein
7	2723, 2724, 2725, 2823, 2824, 2825	C 2722, C 3122	Niedersachsen
5	1224, 1324	C 1122, C 1522	Schleswig-Holstein
1	2821	C 3118	Niedersachsen
1	2919, 2920, 3019, 3020	C 3118	Niedersachsen
0	3639, 3640	C 3938	Brandenburg
0	2825, 2826	C 3122, C 3126	Niedersachsen
0	3329, 3330, 3429, 3430	C 3526, C 3530	Niedersachsen
2	3230	C 3530	Sachsen-Anhalt, Niedersachsen.
5	3009, 3010, 3110	C 3108	Niedersachsen
2	3126, 3127, 3227	C 3126	Niedersachsen
0	2735, 2736, 2835	C 2734, C 3134	Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg
0	3230, 3330	C 3530	Niedersachsen
0	2842	C 3143	Brandenburg
5	3534, 3634	C 3534, C 3934	Sachsen-Anhalt
0	2713, 2714, 2813, 2814	C 2710, C 2714, C 3108, C 3114	Niedersachsen

Tabelle 14: AUSZUG AUS DEM ERDBEVENKATALOG FÜR DIE BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND
MIT RANDGEBIETEN FÜR DIE JAHRE 1000 - 1989

für den Bereich 52°N - 55°N und 6°E - 14°E

DATUM		HERDZEIT			KOORDINATEN			TIEFE		REGION		STÄRKE		REF	LOKATION		
Jahr	Mo	Ta	St	M	S	BREITE	LÄNGE	OE	H	Q	SR	PR	ML	INT	RS		
1012						52 30.	11 30.	4			AM	AH	5.5	100	S40	ALTMARK	
1202						52 36.0	11 54.0	4			AM	AH	3.5		GRU	ALTMARK	
1298						52 6.0	11 36.0	4			AM	AH	4.0		GRU	MAGDEBURG	
1323						53 15.	10 25.				NX	ND	6.0		STW	LUENEBURG	
1410	08	23	22			53 .0	12 15.0	4	15	5	AM	BR	7.0	180	GRU	FRIGNITZ	
1562						52 24.0	11 31.8	4			AM	AH	4.5		GRU	ALTMARK	
1576	04	27	10:30			52 7.8	11 38.4	3			AM	AH	4.0	30	GRU	MAGDEBURG	
1612	10	01				52 04.	8 42.	3			TW	NW	4.0		S40	BIELEFELD	
1680						52 40.8	11 26.4	4			AM	AH	4.5		GRU	ALTMARK	
1736	11	00				52 36.6	11 51.6	3			AM	AH	3.5		GRU	ALTMARK	
1770	09	03	11:45			52 30.	08 00.				TW	ND	7.0		S40	ALFHAUSEN	
1771	08	08				53 33.	10 00.	3	1	1	NX	ND	5.0		S40	HAMBURG	
* Einsturzbeben;																	
1789	05	17				52 24.0	12 27.0	3			ND	BR	5.0		GRU	PLAUE a.d.HAVEL	
1876	10	31	11:50			52 22.8	12 58.2	3			ND	BR	4.0		GRU	WERDER/POTSDAM	
1888	05	16				54 12.0	11 27.0	3			ND	OS	4.0		GRU	S-OSTSEE	
1904	12	07				53 33.0	9 59.4	3			NX	ND	2.5		GRU	HAMBURG	
* Einsturzbeben;																	
1905	07	27				53 57.6	10 52.2	2			ND	OS	3.0		GRU	S-OSTSEE	
1906	09	14				54 30.0	11 9.0	4			ND	OS	4.0		GRU	S-OSTSEE	
1907	01	16	23:15			53 34.2	9 48.0	2			NX	ND	3.0		GRU	HAMBURG	
* Einsturzbeben;																	
1907	04	30				54 27.0	11 10.2	3			ND	OS	3.0		GRU	S-OSTSEE	
1929	09	29				53 32.8	9 49.4	1	1	1	NX	ND	4.0		HAM	HAMBURG-GR.FLOTTBECK	
* Einsturzbeben;																	
1976	10	09	13:31:26			52 18.	6 42.				TI	NL	3.0		LDG	SW ENSCHEDE/NL	
1977	06	02	13:22:23			52 56.9	9 56.7	2	8	5	NX	ND	4.0	5.5	30	LSS	SOLTAU, MUNSTER
* R5= 7;																	
1980	08	10	21:54:28			52 04.	10 02.		1	G	SX	ND	1.6	3.0		IFT	Bad Salzdetfurt
* Ereignis in Bergbauggebiet;																	
1980	10	06	19:54:31			52 18.	7 48.		1	G	TW	NW	2.8	4.0	6	BNS	Mettingen, Ibbenbuehren
* Ereignis in Bergbauggebiet;																	
1981	07	13	08:12:44			52 15.7	07 42.5	2	2	4	TW	NW	4.1	6.0	9	HHC	Ibbenbuehren
* Ereignis in Bergbauggebiet; R5= 3;																	
1982	11	22	18:00:41			52 16.	7 48.		1	G	TW	NW	2.7	4.0		BNS	Mettingen
* Ereignis in Bergbauggebiet;																	
1982	12	28	03:54:01			52 18.	7 42.				TW	NW	2.7			BNS	Ibbenbuehren
* Ereignis in Bergbauggebiet;																	
1983	04	19	15:46:23			52 13.4	9 52.8		1	1	SX	ND	1.8	5.0	3	IFT	Ahrbergen, N Hildesheim
* Ereignis in Bergbauggebiet;																	
1983	05	04	10:25:58			54 30.0	10 12.0		0		NX	ND	2.2			ISC	Laboe, N Kiel
1984	12	21	0:33:46			52 50.1	11 01.0		9	2	AM	ND	2.6			BGR	Salzvedel
1986	12	26	07:47:51			52 59.4	6 33.		1		NX	NL	2.8	4.5		CRO	S Assen/NL
1987	12	14	20:49:48			52 55.8	6 33.		2		NX	NL	2.5	4.0		CRO	ROOGHALEN/NL
1988	4	15	10:49:29			54 18.9	6 7.9		10	G		NS	3.7			ISC	Nordsee, NW Borkum

Tabelle 15: Erläuterungen zum Erdbebenkatalog

DATUM

JAHR: Jahr
MO: Monat
TA: Tag

HERDZEIT (vor 1900 Ortszeit, ab 1900 GMT)

ST: Stunde
M: Minute
S: Sekunde (gerundet)

KOORDINATEN (Grad, Minuten mit Zehntelminuten)

BREITE: nördliche geographische Breite
LÄNGE: östliche geographische Länge
QE: Genauigkeit des Epizentrums

- 1: ±1 km
- 2: ±5 km
- 3: ±10 km
- 4: ±30 km
- 5: >±30 km

TIEFE

H: Herdtiefe in km
Q: Genauigkeit der Herdtiefe
G: Herdtiefe unsicher, vom Bearbeiter fest eingesetzt
1 oder 4: ±2 km
2 oder 5: ±5 km
3 oder 6: ±10 km
Angabe 4,5 oder 6 beruht auf makroseismischer Tiefenbestimmung

STÄRKE

ML: lokale Magnitude (nach C.F.Richter)
INT: maximal gefühlte Intensität oder Epizentralintensität;
Skala MSK 1964 (SPONHEUER, 1965)
RS: Schütterradius in km

optional

DIST: Entfernung in km zwischen Epizentrum und dem vorgegebenen Ort

LOKATION: geographische Beschreibung des Epizentrums

ZUSÄTZLICHE INFORMATIONEN

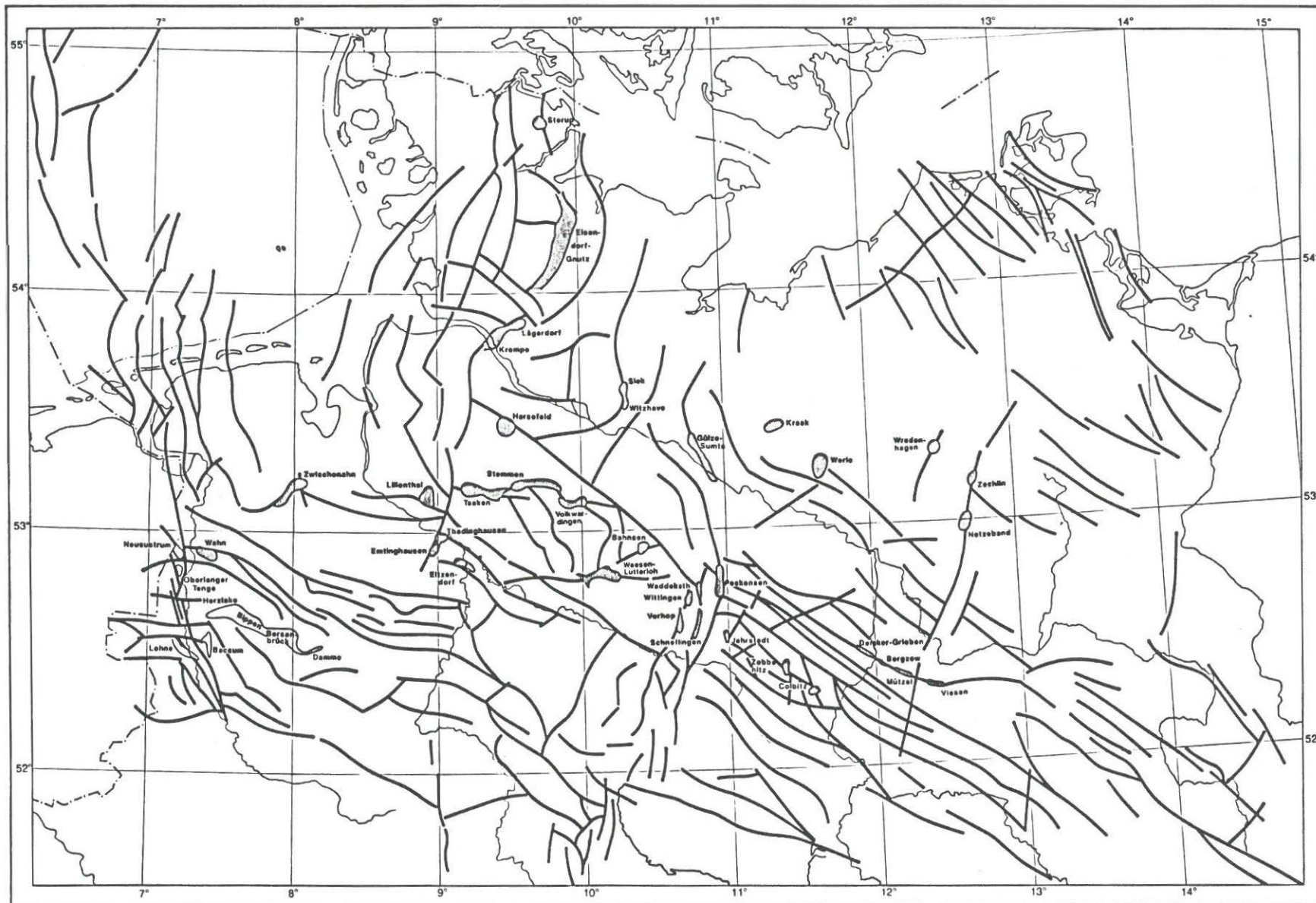
Die mit * gekennzeichnete Kommentarzeile enthält zusätzliche, das vorausgehende Beben betreffende Informationen.
Folgende Kommentare bzw. Abkürzungen sind möglich:

MS: Oberflächenwellen Magnitude
Schäden: "Verletzte", "Tote", "Erdspalten", "Veränderungen an Quellen", "Erdrutsch", "Bergsturz"
Bebenarten: im Normalfall tektonisches Beben (ohne Kennzeichnung); "Einsturzbeben", "Gebirgsschlag", "Ereignis im Bergbaugebiet"



Kurzform der zwölfteiligen makroseismischen Intensitätsskala
MSK 1964 (Sponheuer 1965)

Intensität Beobachtungen

I	Nur von Erdbebeninstrumenten registriert
II	Nur ganz vereinzelt von ruhenden Personen wahrgenommen
III	Nur von wenigen verspürt
IV	Von vielen wahrgenommen. Geschirr und Fenster klirren
V	Hängende Gegenstände pendeln. Viele Schlafende erwachen
VI	Leichte Schäden an Gebäuden, feine Risse im Verputz
VII	Risse im Verputz, Spalten in den Wänden und Schornsteinen
VIII	Große Spalten im Mauerwerk; Giebelteile und Dachgesimse stürzen ein
IX	An einigen Bauten stürzen Wände und Dächer ein. Erdrutsche
X	Einstürze von vielen Bauten. Spalten im Boden bis im Breite
XI	Viele Spalten im Boden, Erdrutsche in den Bergen
XII	Starke Veränderungen an der Erdoberfläche



LEGENDE:

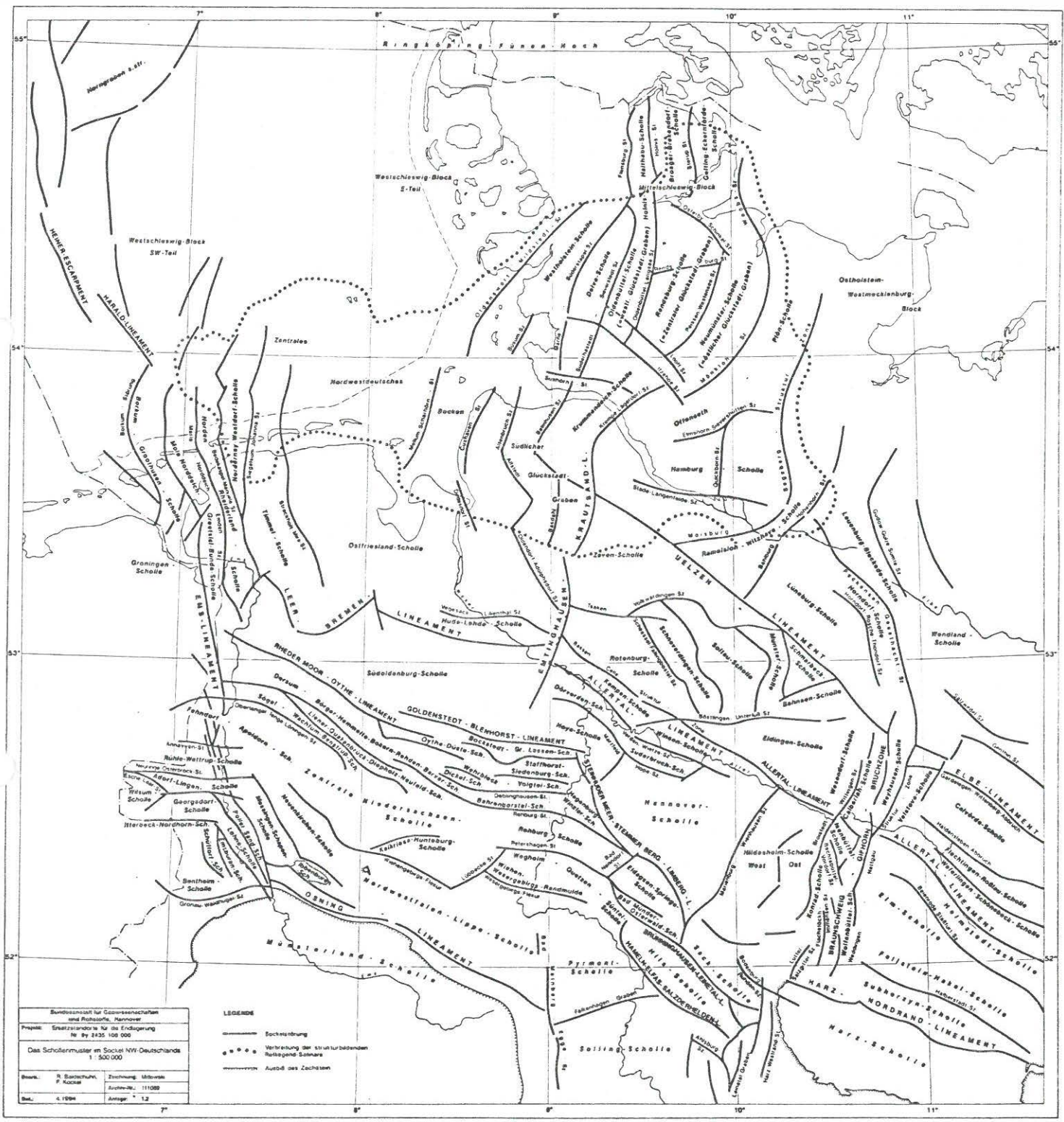
-  Untersuchte Salzstrukturen
-  permomesozoische Lineamente im Sockel

0 50 100 km

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover	
Projekt: Ersatzstandorte für die Endlagerung Nr. 8y 2435 100 000	
Übersicht der insgesamt 40 neu untersuchten Salzstrukturen in den alten und den neuen Bundesländern, 1 : 1 000 000	
Bearb.: R. Baldschuhn, U. Frisch, F. Kockel, P. Krull	Zeichnung: M. Mtlewski Archiv-Nr.: 111 089
Dat.: 4.1994	Anlage: 1.1

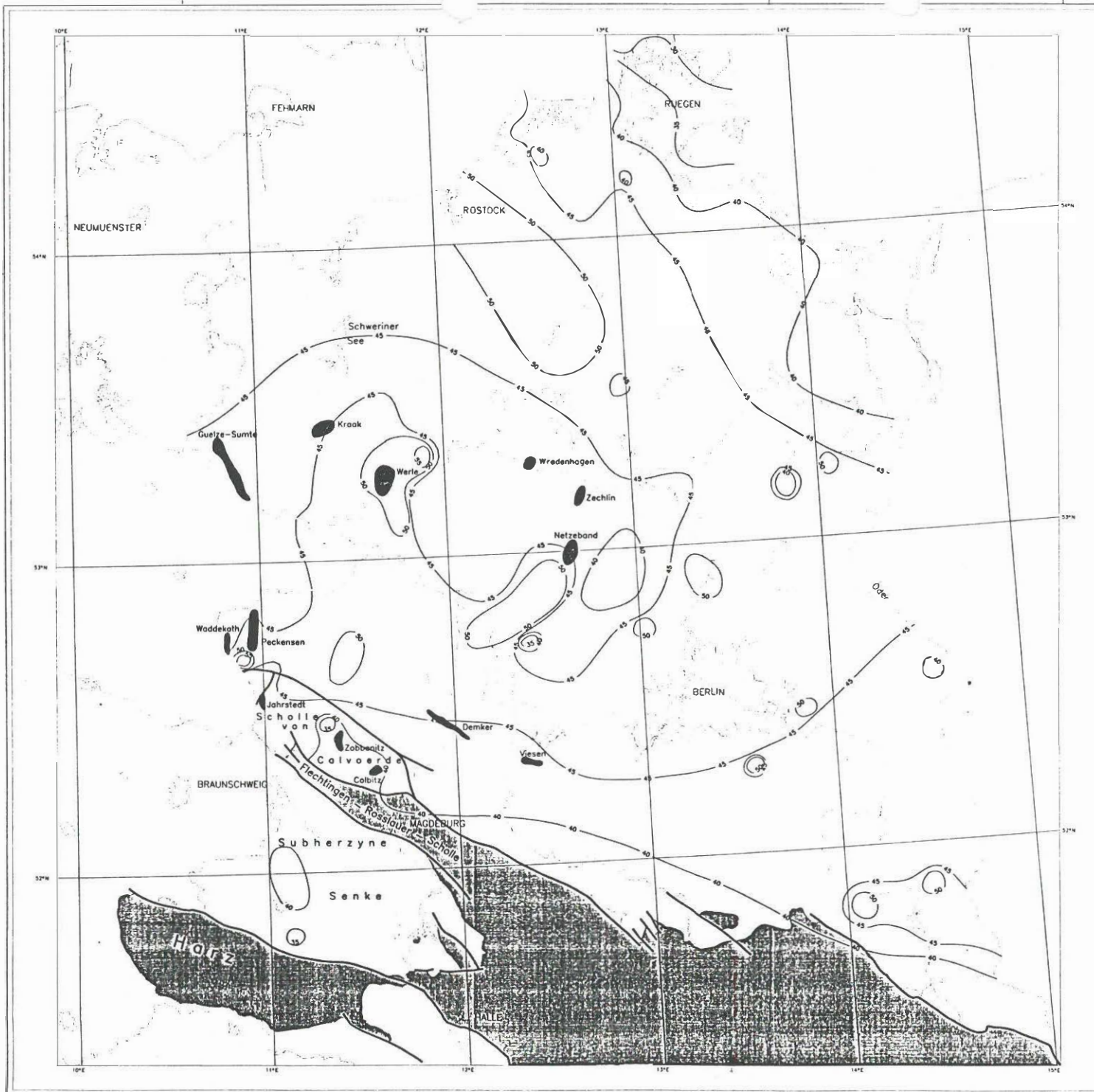
266546

266







Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover
 Projekt: Erkundung der NW-Endigung Nr. BY 2435 100 000
 Das Schollenmuster im Soctel NW-Deutschland 1:500 000
 Bearb.: B. Bachmann, P. Kocak
 Zeichnung: M. Witten
 Anzahl: 111088
 Blatt: 4.1994
 Anlage: 1.2

LEGENDE
 — Fochersprung
 ••••• Verbreitung der strukturbildenden Ruteliegend-Scholle
 - - - - - Austis des Zechsteins



Legende

-  Isotherme °C
-  Salzstock
-  Grundgebirgsausstrich
z. T. unter Känozoikum
-  Bruchstörung
Schollengrenze


BGR
Aussenstelle Berlin
 Endlager stark waermentwickelnder
 Abfoelle in Salinorstrukturen
**Temperaturen in Nordostdeutschland in einer
 Tiefe von 1000m u. NN (n. GLAESER 1983)**

PROJEKTION: STRAUSS	TRANSVERSE MERCATOR
STRAUSS	BRUNNEN 1847
ZENTRAL WERTUNG: 30 000 0000	30 000 0000
FAKTOREN DER VERFORMUNG: 30 000 0000	30 000 0000
FAKTOREN DER VERFORMUNG: 30 000 0000	30 000 0000
SCHEMENSCHLÜSSEL: 30 000 0000	30 000 0000
SCHEMENSCHLÜSSEL: 30 000 0000	30 000 0000

Author: ABG 44 P. Kruhl C. Interval: Scale: 1 : 500000
 Date: SEPTEMBER 1984 Datum: M.S.L. Drawing No.: 1.3 E

266548
 200

Anlage 1.3 West (BGR Hannover, Archv-Nr.: 111 080)

