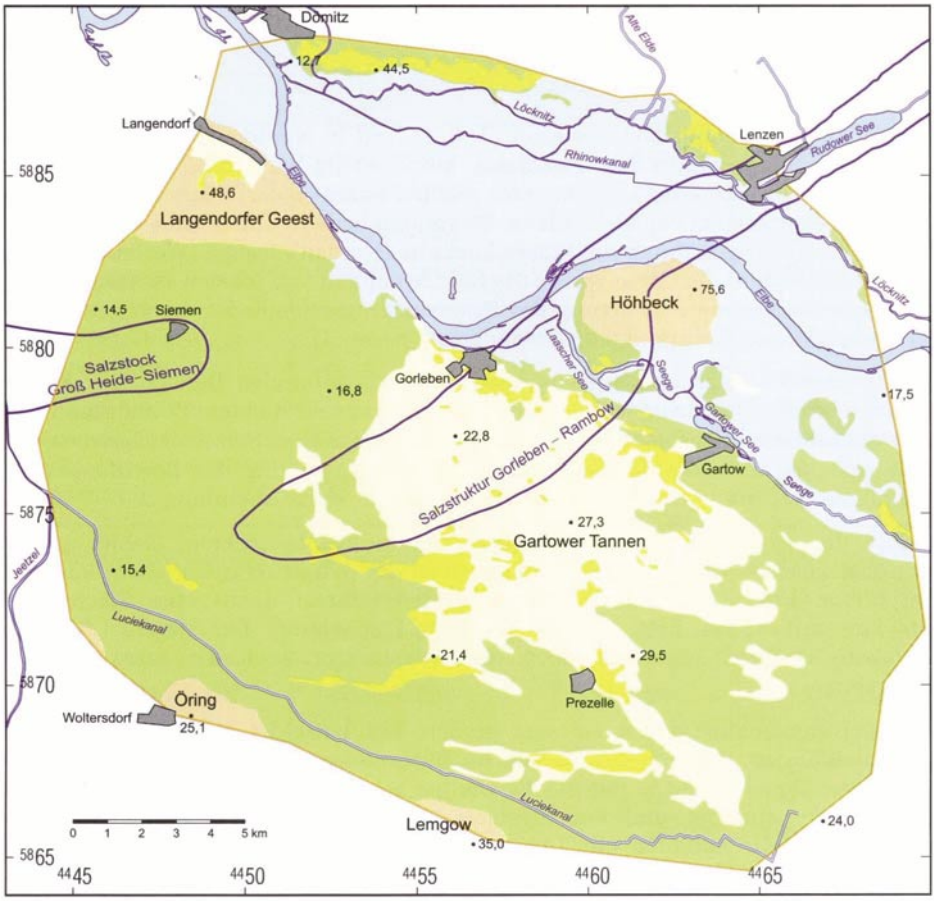
Dipl. Geol. Ulrich Schneider



Expertise zum Salzstock Gorleben

Der aktuelle Kenntnisstand im Lichte der aktuellen Ereignisse bei der ASSE II

DIE LINKE.
Fraktion
im Niedersächsischen Landtag

V.i.S.d.P.:
Christa Reichwaldt
Hinrich-Wilhelm-Kopf-Platz 1
30159 Hannover

Vorwort

„Die Asse bringt es an den Tag“ lautet ein bekannter Slogan von Atomkraftgegnern. Wie so oft in der Geschichte der Atomenergie haben sie Recht behalten: Die Vorgänge in dem ehemaligen Bergwerk enthüllen, wie fahrlässig, naiv und fachlich unseriös Gutachter, Behörden und Politik bei der Atommüll-Endlagerung vorgegangen sind. Doch was lernen die politisch Verantwortlichen aus dem Asse-Schlamassel? Diese Frage lässt sich leicht beantworten: nichts. Denn unbeirrt halten sie am Endlagerstandort Gorleben fest, obwohl es sich dabei ebenfalls um einen Salzstock handelt. Warnungen von Experten wie Professor Klaus Duphorn und Professor Eckhard Grimmel, wonach der Salzstock eklatante geologische Mängel aufweist, werden seit 30 Jahren ignoriert.

Die Entscheidung, Gorleben zum Endlager zu machen, ist nach Ansicht der Linksfraktion eine der gravierendsten umweltpolitischen Skandale der vergangenen Jahrzehnte. Klar ist: Die Entscheidung war eine politische, sie basierte nicht auf wissenschaftlichen Erkenntnissen. Die politische Ignoranz setzte sich im Jahr 2001 mit dem sogenannten Atomkonsensvertrag zwischen der damaligen rot-grünen Bundesregierung und der Atomindustrie fort. Darin bescheinigten beide Parteien dem Salzstock Gorleben fatalerweise die „Eignungshöffigkeit“. Unterdessen steht seit vielen Jahren fest, dass das „Erkundungsbergwerk“ Gorleben bereits zu großen Teilen endlagerfähig ausgebaut wurde. Mit dem „Schwarzbau“ wurden nicht nur rund 700 Millionen Euro an Steuergeldern verschwendet, sondern es wurden Fakten geschaffen, die die Entscheidung für einen Endlagerstandort beeinflussen.

Die Zeit drängt: Im Jahr 2010 läuft das Gorleben-Moratorium ab. Während des 10-jährigen Moratoriums sollten alle Zweifel an Gorleben ausgeräumt werden. Die Linksfraktion hat deshalb ein Gutachten in Auftrag gegeben, das die geologische Beschaffenheit des Salzstocks Gorleben beschreibt. Der Autor der Studie, der Kieler Diplom-Geologe Ulrich Schneider, untersuchte Gorleben bereits in den 80er Jahren gemeinsam mit Prof. Klaus Duphorn im Auftrag der Physikalisch Technischen Bundesanstalt. Schneider geht in seiner Expertise ausführlich auf die Fragen ein, die während des Moratoriums geklärt werden sollten. Außerdem beschreibt er die neusten Erkenntnisse über das Medium Salz, und wie es sich verhält, wenn es mit stark Wärme entwickelndem Atommüll in Kontakt kommt. Dabei wird durch Schneiders Ausführungen deutlich: der Salzstock Gorleben ist nicht für die Endlagerung von Atommüll geeignet, eine Langzeitsicherheit nicht gewährleist. Aus diesem Grund braucht es eine vergleichende Standortsuche, bei der Gorleben ausgeschlossen wird.

Die Erkenntnisse dieses Gutachtens werden wir als Grundlage für unsere weitere parlamentarische Arbeit nutzen. Außerdem wollen wir damit zu einer fachlich fundierten Diskussion über die Endlagerfrage beitragen. Dabei ist uns natürlich klar, dass es keine sichere Endlagerung von Atommüll geben kann und wird. Letztlich kann man nur die Beste von schlechten Alternativen wählen.

Kurt Herzog,
umweltpolitischer Sprecher der Fraktion DIE LINKE im Niedersächsischen Landtag

Expertise zum Salzstock Gorleben

Der aktuelle Kenntnisstand im Lichte der aktuellen Ereignisse bei der ASSE II

Verfasser: Dipl.-Geologe Ulrich Schneider, Kiel, August 2009
Auftraggeber: Fraktion Die Linke im Niedersächsischen Landtag

Teil 1

Die über- und untertägige Erkundung des Salzstocks Gorleben ..... Seite 6
(Süd- und Nordteil)
Befunde und Schlussfolgerungen

Teil 2

Die 12 Zweifelsfragen ..... Seite 19
Zusammenfassung und Stellungnahmen zu den
konzeptionellen und sicherheitstechnischen Fragen
der Endlagerung radioaktiver Abfälle

anhand des

Synthesebericht des Bundesamtes für Strahlenforschung

Anhang 1

Historischer Abriss ..... Seite 41

Anhang 2

Dokumentation der im Verlauf der Endlagerdiskussion benannten Salzstöcke ..... Seite 50

Abbildungen ..... Seite 53

Vorwort des Verfassers

Im Mai 2009 beauftragte die Die Linke Fraktion im Niedersächsischen Landtag den Unterzeichner mit der Erstellung einer Expertise zum Salzstock Gorleben.

Im Rahmen der Expertise sollten die aktuellen geologischen und hydrogeologischen Untersuchungsbefunde aus dem Deckgebirge über der Salzstruktur Gorleben-Rambow sowie die vorliegenden Befunde der untertägigen Erkundung des Salinars unter besonderer Berücksichtigung von Grundwasserversalzung, Salzwasseraufstrom, Subrosion, Thermodynamik sowie von Gas- und Laugenvorkommen zusammengefasst und im Hinblick auf die eignungsrelevante Bedeutung der Befunde bewertet werden.

Neben dem gorlebenspezifischen Teil mit der Auswertung der Befunde aus dem über- und untertägigen Erkundungsprogramm war in einem zweiten Teil eine Zusammenfassung und Abarbeitung der Zweifelsfragen aus dem Atomkonsensvertrag gefordert.

Zusätzlich sollte die Expertise einen historischen Abriss der Endlagerdiskussion seit 1956 und eine Dokumentation der im Verlauf der Endlagerdiskussion benannten Standorte für ein Endlager für radioaktive Abfälle enthalten. Diese beiden Dokumentationen sind im Anhang beigefügt.

Fachliche Grundlagen für die nunmehr vorliegenden Ausarbeitungen waren für den gorlebenspezifischen Teil die aktuellen Standortbeschreibungen Gorleben der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) zur Hydrogeologie, zur Geologie des Deckgebirges und zu den Befunden des Salinars *(Bornemann et al. 2008, Klinge et al. 2007, Köthe et al. 2007*).

Für den zweiten Teil mit den Ausarbeitungen und Stellungnahmen zu den Zweifelsfragen war der Synthesebericht des Bundesamtes für Strahlenschutz zu den konzeptionellen und sicherheitstechnischen Fragen der Endlagerung radioaktiver Abfälle – Wirtsgesteine im Vergleich – die Diskussionsgrundlage.

Der historische Abriss der Endlagerdiskussion seit 1956 basiert hauptsächlich auf der umfangreichen Dokumentation von *Tiggemann (2004)*.

Aus diesem Werk stammen auch wesentliche Angaben zur Dokumentation der im Verlauf der Endlagerdiskussion benannten Standorte. Weitere 41 Standorte sind nach Abschluss des übertägigen Erkundungsprogramms Gorleben (Südteil) einer ersten Überprüfung unterzogen worden (BGR, 1995).

Die nunmehr vorliegende Expertise zum Salzstock Gorleben wurde vom Unterzeichner weisungsfrei und nach eigenem fachlichen Gewissen erstellt.

Kiel, den 16.08.2009

Ulrich Schneider

Die über- und untertägige Erkundung des Salzstocks Gorleben (Süd- und Nordteil)
Befunde und Schlussfolgerungen

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
2. Ergebnisse des Erkundungsprogramms
2.1 Niederschlag und Grundwasserneubildung
2.2 Hydrogeologie des Deckgebirges
2.3 Hydraulische Eigenschaften und Kontakte
2.4 Geothermische Anomalien
2.5 Alter der NaCl-Solen über dem Salzstock
2.6 Rezente Grundwasserbewegungen
2.7 Glazigene Deformationen
2.8 Scheitelgräben
2.9 Der Salzstock Gorleben, Salzspiegel, Gipshut, Kaliflöz Staßfurt, Permafrostspalten, sonstige Klüfte, Gas-und Laugenzutritte
3. Zusammenfassende Schlussbetrachtung
4. Literaturverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abb.1: Lageplan

Abb. 2: Jahresniederschlagsmengen 1947 – 2008

Abb. 3: Vereinfachter geologischer Schnitt durch das Untersuchungsgebiet

Abb. 4: Geologischer SW – NE-Schnitt

Abb. 5: Pumpversuche Meetschow und Gorlebener Tannen -Absenkungen zu Ende der Pumpversuchsphase-

Abb. 6: Pumpversuch Dömitz-Lenze -Absenkungen zu Ende der Pumpversuchsphase-

Abb. 7: Gesamtsalzgehalte der Grundwässer an der Basis des unteren Grundwasserleiters

Abb. 8: Grundwassertemperaturen im Niveau –150 mNN

Abb. 9: Karte der Wärmestromdichte

Abb. 10: Sauerstoff-Isotopensignatur der Wässer mit >200 mg/l Gesamtsalzgehalt

Abb. 11: Grundwassergleichenplan des oberflächennahen Grundwassers

Abb. 12: Gangliniendiagramme der Messstellengruppe GoHy 190 in der SE-Randsenke

Abb. 13: Vergleich der Ganglinien der Messstellengruppe GoHy 280 mit der Gang-Linie des Elbpegels bei Gorleben

Abb. 14: Modellalter des Grundwassers im Rinnenbereich mit Fließzeiten

Abb. 15: Hydrostratigraphischer und hydrochemischer Vertikalschnitt durch die Struktur Gorleben-Rambow im Bereich der Elbe-Löcknitz-Niederung

Abb. 16: Geologischer Schnitt im Übergangsbereich zwischen den Salzstöcken Gorleben und Rambow

Abb. 17: Flachseismische Profilschnitte über der Salzstruktur Gorleben-Rambow

Abb. 18: Tiefenlinienplan des Salzspiegels im Salzstock Gorleben

Abb. 19: Vereinfachter schematischer Schnitt durch den Salzstock Gorleben

Abb. 20: Ablaugung des Kaliflözes Staßfurt im Bereich der Gorlebener Rinne

1. Einleitung

Die übertägige Erkundung des südlich der Elbe liegenden Salzstocks Gorleben begann 1979 und dauerte bis 1984. Nach der Wiedervereinigung der beiden deutschen Staaten erfolgte in den Jahren 1996 bis 1998 die Erkundung des nördlichen Teils der Salzstruktur Gorleben-Rambow bis in den Bereich der nördlich der Elbe verlaufenden Löcknitz. Der durch nacheiszeitliche bis rezente Subrosion entstandene Rudower See über dem Salzstock Rambow *(Meinhold/Reinhardt)* wurde nicht mit in die Untersuchungen einbezogen.

Im südlichen, rund 390 km^2 großen Untersuchungsgebiet wurden 158 geologische Aufschlussbohrungen mit Bohrtiefen von meist 200 bis 450 m abgeteuft und 322 Grundwassermessstellen in Parallelbohrungen eingerichtet.

Zusätzlich sind für die übertägige Erkundung 44 Salzspiegelbohrungen, vier Tiefbohrungen und zwei Schachtvorbohrungen sowie eine Tiefbohrungen in der südlichen Randsenke niedergebracht worden. Flachseismische Untersuchungen zur Erkundung der Salzstockoberfläche und der quartären Rinne, vier Langzeitpumpversuche und eine Vielzahl von Spezialuntersuchungen (z.B. Geothermische Untersuchungen, Alterdatierungen etc.) ergänzen die übertägige Erkundung des Salzstocks Gorleben.

Im Bereich der Elbe-Löcknitz-Niederung und somit nur zu einem kleinen Teil auch über dem Salzstock Rambow wurden auf einer Fläche von rund 85 km^2 zwischen 1996 und 1998 insgesamt 27 Erkundungsbohrungen abgeteuft und 76 Grundwassermessstellen eingerichtet. Für einen Langzeitpumpversuch sind ferner 13 temporäre Messstellen erstellt worden. Neben dem oben aufgeführten Bohrprogramm wurden eine bodenkundliche Kartierung, ein quartärgeologisches Kartier- und Flachbohrprogramm sowie flachseismische Messungen zur Erkundung der quartären Strukturen im Untergrund durchgeführt.

Die Abb. 1 gibt einen Überblick über das Untersuchungsgebiet und die Lage der Bohrungen.

Die untertägige Erkundung des Salzstocks Gorleben begann mit dem Abteufen der beiden 400 m voneinander entfernten Schächte Gorleben 1 und Gorleben 2 in den Jahren 1986 bis 199 bzw. 1989 bis 1995. Zum 01.Oktober 2000 wurden sämtliche Erkundungsarbeiten infolge des zwischen der Bundesregierung und den Energieversorgungsunternehmen vereinbarten Moratoriums eingestellt.

Nach Abschluss des übertägigen Erkundungsprogramms wurden seitens der BGR die Untersuchungsbefunde in zwei separaten Publikationen im Zusammenhang dargestellt (Standortbeschreibung Gorleben, Teil 1 und 2).

Im Teil 1 *(Klinge, H. et al: 2007)* wird die Hydrogeologie des Deckgebirges des Salzstocks Gorleben behandelt.

Der Teil 2 *(Köthe, A. et al: 2007)* befasst sich mit der Geologie des Deck- und Nebengebirges des Salzstocks Gorleben.

Im Teil 3 der Standortbeschreibungen *Bornemann, O. et al: (2008)* werden letztendlich die bis zum Gorlebenmoratorium gewonnenen Ergebnisse der übertägigen und untertägigen geologischen Erkundung des Salinars behandelt. Der Bericht ist hinsichtlich einer umfassenden und belastbaren Aussage zur Eignung des Salzstocks für die Einrichtung eines möglichen Endlagers für radioaktive Abfälle noch nicht vollständig.

In einem vierten Teil sollen die geotechnischen Untersuchungen beschrieben werden.

In vorliegender Expertise zum Salzstock Gorleben werden die in den o.a. Publikationen beschriebenen und im wesentlichen unstreitigen Fakten des über- und untertägigen Erkundungsprogramms nochmals komprimiert dargestellt. Die in den o.a. Standortbeschreibungen vorgenommene Gliederung wird dabei weitgehend beibehalten. Mit Ausnahme der Abbildungen 2 und xxx, stammen alle anderen grafischen Darstellungen aus den o.a. Standortbeschreibungen. Sie wurden teilweise ergänzt und mit den für die vorliegende Expertise gültigen Abbildungsnummern versehen.

Die seitens der BGR getroffenen Interpretationen und Erklärungen der angetroffenen Fakten werden mit denen anderer Geowissenschaftler (z.B. Duphorn, K.: 1983, 1987, 2008 u.a) und eigenen verglichen und diskutiert. In einem abschließenden Kapitel werden die Untersuchungsbefunde bewertet und –soweit relevant- in einen Zusammenhang mit dem aktuellen Erkenntnisstand vom Endlagerbergwerk Asse gestellt.

Bereits an dieser Stelle muss angemerkt werden, dass in den o.a. drei Publikationen der BGR in einigen Teilkapiteln wesentliche Befunde aufgeführt werden, die jedoch in den entsprechenden zusammenfassenden Bewertungen der jeweiligen Autoren nicht immer den ihn gebührenden Stellenwert einnehmen bzw. sogar teilweise überhaupt nicht mehr erwähnt werden.

2. Ergebnisse des Erkundungsprogramms

2.1 Niederschlag und Grundwasserneubildung

In *Klinge, H. et al (2007, S 17)* wird für den 25-jährigen Zeitraum von 1955 bis 1980 für die Station Lüchow ein Mittelwert der Jahresniederschläge von 556 mm pro Jahr benannt. Für die Zeit von 1984 bis 1997 wird ein um 80 mm höherer Jahresmittelwert von 636 mm pro Jahr ausgewiesen. Die Ursache für die große Mittelwertsdifferenz wird auf überdurchschnittlich hohe Niederschläge in den Jahren 1984,1986-1988 sowie 1993 und 1994 von bis zu max. 841 pro Jahr zurückgeführt.

Die im Jahr 2007 herausgegebene BGR-Publikation geht jedoch in keiner Weise auf die Niederschläge vor 1997 ein. In der Abb. 2 sind die vom Deutschen Wetterdienst (DWD) dokumentierten jährlichen Niederschlagsmengen von 1947 bis einschl. 2008 aufgetragen. Die Differenzen zwischen den für die Jahre 1984-1997 von der BGR angegebenen Werten und denen des DWD sind derzeit nicht erklärbar.

Für das Gebiet südlich der Elbe wurden auf 84 Prozent der Gesamtfläche von ca. 390 km^2 Neubildungsraten von durchschnittlich +64 mm pro Jahr (maximal +160 mm/a) ermittelt. Die höchsten Neubildungsraten (80-160 mm/a) werden dabei über dem zentralen Salzstockbereich und den südöstlich angrenzenden, durch Flugsandaufwehungen und Dünen geprägten Gartower Tannen erreicht.

Auf 16 Prozent der Fläche, insbesondere in den Nieder-ungsgebieten mit geringen Flurabständen und oberflächennah anstehenden bindigen Böden, treten negative Neubildungsraten auf, d.h. die Summe von Oberflächenabfluss und Verdunstung ist größer als die Niederschlagsmenge.

Im Untersuchungsbereich nördlich der Elbe wurde eine mittlere Neubildungsrate von lediglich 28 mm/a ermittelt. Die berechneten Sickerwasserraten betragen zwischen –61mm/a und max. +161 mm/a.

Grundlage für die Bestimmung der Neubildungsraten sind dabei die 25-jährigen Mittel der Wetterstation Lüchow (vermutl. Analog zu den Niederschlagswerten von 1955-1980). Ob auch das nachfolgende 25-Jahresmittel (1980 – 2005) in die Bestimmungen einbezogen worden ist, geht aus den Erläuterungen jedoch nicht hervor.

2.2 Hydrogeologie des Deckgebirges

Von besonderem Interesse sind die bis zu 430 m mächtigen tertiären und quartären Deckschichten im Untersuchungsgebiet, die ein Stockwerksystem aus Grundwasserleitern und -geringleitern aufbauen *(Klinge, H. et al: 2007, S 21)*.

Als Basis des regionalen Grundwasserfließsystems im Untersuchungsgebiet kann der unteroligozäne Rupelton (tolR) angesehen werden. Dieser ist hauptsächlich in den Randsenken der Salzstruktur Gorleben-Rambow verbreitet. Über dem Salzstock Gorleben fehlt der Rupelton (vergl. Abb. 3).

Hinsichtlich der Unterteilung in Grundwasserleiter und –geringleiter wird anhand petrografischer Hauptkomponenten (i.W. anhand der aus Korngrößenzusammensetzung der Schichten ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte -kf) eine Dreiteilung vorgenommen:

Grundwasserleiter: (GWL, kf > 10-5 m/s)
Grundwassergeringleiter:
(GWGL, 10-5 m/s < kf < 10-7 m/s) und
Grundwassergeringleiter: (GWGL, kf < 10-7 m/s).

Überregional verbreitete, bedeutende tertiäre Grundwasserleiter sind die mäßig durchlässigen oberoligozänen Feinsande und Schluffe des Neochatt (toloN) sowie die darüber lagernden untermiozänen Unteren Braunkohlensande (tmiBS1). Diese Schichten treten hauptsächlich in den Randsenken des Salzstocks Gorleben auf und stellen hier den unteren Grundwasserleiter dar. Im Hebungsbereich über dem Salzstock Gorleben fehlen diese Ablagerungen. Sie treten erst wieder nördlich der Elbe über dem Salzstock Rambow auf.

Innerhalb des durch den tertiären Salzaufstieg aufgewölbten Hebungskranzes lagern über den Ablagerungen des Zechstein (Salz- incl. Hutgestein) im südwestlichen Bereich des Salzstocks Gorleben nur geringleitende und infolge quartärer Subrosion stark gestörte ältere Tertiärschichten des Eozäns bis Paläozäns (s. Abb. 4), die auf einer Fläche von ca. 3 km^2 in einer fossilen Subrosionssenke von präelsterzeitlichen Sanden (Menap-Kaltzeit) überlagert werden.

Der zentrale Mittelteil des Salzstocks Gorleben und diesen in Südwest-Nordost-(SW-NE)-Richtung querend wird von der 200-300m tiefen sogen. Gorlebener Rinne geprägt. Diese ist in der Hauptsache durch elsterzeitliche Erosion (durch Schmelzwässer) und partiell sicherlich auch durch Exaration (durch das Gletschereis) entstanden und

hat auf einer Fläche von 4,5 km² den Gipshut des Salzstocks bzw. das Salzgestein selbst angeschnitten *Duphorn, K. (2008)*.

Die Rinnenfüllung besteht im unteren Abschnitt aus mehreren Dekameter mächtigen, gut durchlässigen Rinnensanden. Gelegentlich sind auch Reste von elsterzeitlichem Geschiebemergel erhalten. Die elsterzeitlichen Rinnensande werden durch geringdurchlässige Tone und Schluffe des Lauenburger-Ton-Komplexes überlagert.

Infolge der starken Eintiefung der Gorlebener Rinne in den tertiären Untergrund stehen die elsterzeitlichen Rinnensande mit den unteren Braunkohlensanden in hydraulischem Kontakt bzw. sie haben diese vollständig ersetzt. Die gut wasserleitende Rinnenfüllung wird von der BGR mit den tertiären Wasserleitern zusammenfassend als „Unterer Grundwasserleiter" bezeichnet. Hierzu werden auch die in der Subrosionssenke abgelagerten präelsterzeitlichen Sande über dem Südwestteil des Salzstocks Gorleben gerechnet.

Die hydraulische Trennung zu den jüngeren, saale- und weichselzeitlichen wasserleitenden Schichten, die als „Oberer Grundwasserleiter" zusammengefasst werden, wird innerhalb der Gorlebener Rinne weitgehend durch den flächig verbreiteten, lokal jedoch infolge eistektonischer Beanspruchung gestörten Lauenburger-Ton-Komplex bewirkt.

Im Bereich der NW-Randsenke erfolgt die hydraulische Trennung durch den untermiozänen Hamburger Ton. Dieser und der Lauenburger-Ton-Komplex sind in der Südost-(SE)-Randsenke vielfach erosiv ausgeräumt *(Klinge, H. et al.: 2007, S. 31)*, sodass hydraulische Verbindungen zwischen den beiden Stockwerken bestehen.

Diese pauschalen Stockwerkstrennung in lediglich zwei Haupteinheiten ist nach Auffassung des Verfassers der vorliegenden Expertise für eine Standortbeschreibung im Rahmen eines Erkundungsprogramms für ein Endlager für radioaktive Abfälle zu grob und letztendlich, wie noch gezeigt wird, auch nicht zulässig.

2.3 Hydraulische Eigenschaften und Kontakte

Im Rahmen von fünf groß angelegten Langzeitpumpversuchen (Weißes Moor 1 und 2, Meetschow, Gorlebener Tannen und Dömitz-Lenzen) wurden Informationen über hydraulisch relevante Materialeigenschaften (Transmissivität, Durchlässigkeitsbeiwert, Speicherkoeffizient) sowie über die Wirksamkeit der stockwerkstrennenden Geringleiter und die geohydraulischen Verbindungen zwischen den verschiedenen grundwasserleitenden Schichten gewonnen *(Klinge et al. 2007, S.33)*.

Beim Pumpversuch Dömitz-Lenzen waren mögliche Auswirkungen der Entnahme im unteren Grundwasserleiter auf die Wasserstände im oberen Grundwasserleiter wegen eines damals auftretenden Elbhochwassers nicht quantifizierbar *(Klinge et al. 2007, S. 41)*.

Belastbare Aussagen über derartige Auswirkungen wären jedoch insbesondere im Hinblick auf die später noch zu diskutierenden Salzwasseraufstiegszonen (s.u.) von besonderer Bedeutung gewesen. Eine Wiederholung des Pumpversuchs hätte im Rahmen des hydrogeologischen Standorterkundungsprogramms zwingend erfolgen müssen.

Aus den Pumpversuchen kann abgeleitet werden, dass zwischen den präelsterzeitlichen Sanden über dem Südwestteil des Salzstocks Gorleben und den elsterzeitlichen Rinnensanden in der Gorlebener Rinne hydraulische Verbindungen bestehen. Die Rinnensande wiederum stehen in hydraulischen Kontakt mit den tertiären Wasserleitern in den Randsenken.

Durch die Pumpversuche „Gorlebener Tannen" (Förderbrunnen ist in den präelsterzeitlichen Sanden verfiltert) und Meetschow (hier sind elsterzeitliche Rinnensande verfiltert) ist ferner nachgewiesen, dass die unter dem ältesten quartären Wasserleiter in der Subrosionssenke anstehenden eozänen bis paläozänen Tone und Schluffe keine wirksame hydraulische Barriere darstellen. Die im darunter folgenden Hutgestein des Salzstocks Gorleben verfilterten Messstellen zeigten deutliche Reaktionen bei den beiden o.a. Pumpversuchen *(Klinge, H. et al: 2007, S 41)*.

Diese, nur in einem kurzen Absatz niedergelegte Feststellung wird in den späteren Interpretationen und Schlussfolgerungen der BGR nicht mehr aufgegriffen bzw. näher betrachtet. Es handelt sich jedoch um eine bemerkenswerte Feststellung, die belegt, dass aktive Grundwasserbewegungen und somit Lösungsvorgänge nicht nur in den Rinnensanden im Bereich der unmittelbaren Kontaktflächen zwischen unterem Aquifer und Zechsteinsalzen stattfinden können, sondern auch flächenhaft über hydraulische Wegsamkeiten im Hutgestein selber. Letztendlich stellt das Hutgestein ein eigenständiges hydraulisches System dar, dass auch in Kontakt zu den

besonders lösungsempfindlichen Kaliflözen (s.u.) steht.

Für den Bereich der präelsterzeitlichen Subrosions-Senkensande sind ferner hydraulische Verbindungen zum „Oberen Grundwasserleiter" belegt. Hier sind auch absteigende Grundwasserbewegungen (Eindringen von Süßwasser in die Senke) wegen des hier vorliegenden Grundwasser-Neubildungsgebietes nachgewiesen (s.u.).

Infolge der Fehlstellen von Hamburger Ton und Lauenburger-Ton-Komplex im Bereich der SE-Randsenke stehen hier der obere und der untere Grundwasserleiter in direktem Kontakt *Klinge, H. et al.: (2007, S. 31)*.

Aus den Befunden der Pumpversuche kann letztendlich geschlossen werden, dass über der Längsachse des Salzstocks Gorleben, vom Grundwasser-Neubildungs-Gebiet am südlichen Rand ausgehend, Wegsamkeiten für Niederschlagswässer bis zum Salzstock hinab, durch die präelsterzeitlichen Sande bzw. durch das Hutgestein hindurch und im weiteren Verlauf durch die Gorlebener Rinne bis in das nordwestliche Randsenkengebiet bestehen.

Infolge der hydraulischen Kontakte zwischen „Oberem und Unterem Grundwasserleiter" im Bereich der SE-Randsenke, über der ein ausgeprägtes Grundwasser-Neubildungs-Gebiet liegt, sind auch hier Wegsamkeiten für Niederschlagswässer in die Gorlebener Rinne und somit bis zum Salzgestein hinab gegeben.

2.4 Geothermische Anomalien

Im Rahmen von geothermischen Untersuchungen, die zum Ziel hatten, zusätzliche Indikationen für Grundwasserbewegungen in der Tiefe zu erfassen, konnte ermittelt werden, dass die Grundwassertemperaturen bei 150 m unter NN über dem Salzstock Gorleben örtlich 19°C übersteigen, während in den Randesenken teilweise nur 10°C herrschen. Die Zone mit der niedrigen Temperatur ist dabei im Südosten des Salzstocks ausgedehnter als im Nordwesten (s. Abb. 7).

Von Besonderem Interesse für die Interpretation der Grundwasserbewegungen im tiefsten Teil der Gorlebener Rinne bzw. im Hutgestein wären jedoch auch Aussagen über die Temperaturverteilung unmittelbar über dem Salzspiegel. Da der überwiegende Teil der Messstellen im obersten Bereich des (unteren) Grundwasserleiters verfiltert ist, liegen keine kontinuierlichen Temperaturprofile bis zur Rinnenbasis vor. Dies wird selbst von der BGR als Manko angesehen *(Klinge et al. 2007, S. 55)*.

Im Vergleich zur Untersuchungssystematik bei Altlastenuntersuchungen im Sinne des Bundesbodenschutzgesetzes (historische Erkundung, orientierende Untersuchung, Detailuntersuchung, Sanierungsuntersuchung) kann diesem geothermischen Erkundungsschritt allenfalls ein orientierender Charakter zugesprochen werden. Eine belastbare Basis für konkrete Aussagen zur Grundwasserdynamik bzw. für hydraulische Modellierungen wurde somit im Rahmen des hydrogeologischen Untersuchungsprogramms nicht geschaffen. Hier wurde offensichtlich am falschen Ende der Rotstift angesetzt.

Analog zur o.a. Verteilung der Grundwassertemperaturen zeichnet in 150 m Tiefe NN auch die Verteilung der Wärmestromdichten den Verlauf des Salzstruktur nach. Örtliche Unterschiede der Anomaliestrukturen geben ergänzende Hinweise auf Grundwasserströmungen. Über dem Salzstock wäre eine annähernd gleichmäßig verteilte Wärmestromdichte zu erwarten. Es wurde jedoch ein stark differenzierte Bild mit lokalen Absenkungen des Wärmestroms weit unter dem Erwartungswert festgestellt (s. Abb. 8).

Auffällig niedrige Wärmestromdichten wurden über dem Ringwall im Süden des Salzstocks Gorleben (Im Bereich der Bohrungen GoHy 812 und 613) sowie über dem Salzstock südlich von Gorleben (GoHy 862 und 2123) bestimmt. In beiden Fällen greifen Zonen niedrigen Wärmestroms von Südosten her in das Gebiet des Salzstockdeckgebirges über *(Klinge et al.: 2007, S 52)*.

Bei der geringen Wärmestromdichte über dem südlichen Ringwall, der infolge quartärer Erosion tiefer als in den benachbarten Bereichen liegt, handelt es sich um die Auswirkungen einer lokalen hydraulischen Verbindung zwischen der fossilen Subrosionssenke über dem westlichen Salzstock und der südlichen Randsenke - *in Klinge et al: (2007, S. 55)* ist vermutlich versehentlich von der südwestlichen Randsenke die Rede - durch die kaltes Grundwasser aus dem Bereich der Gartower Tannen in die fossile Subrosionssenke einströmen kann. Der Zustrom kalten Grundwassers führt zu einer Erniedrigung des vertikalen, konduktiven Wärmestroms im Einstrombereich.

Ein ähnliches Bild ergibt sich auch für den Bereich südlich von Gorleben. Hier kann der Einfluss des

aus der Grundwasserhochlage der Gartower Tannen anströmenden Kaltwassers bis zur Basis des oberen Grundwasserleiters nachgewiesen werden.

Abwärts gerichtete Bewegungen kalten Grundwassers sind auch unterhalb (der eistektonisch aufgeschuppten) topografischen Hochlage des Höhbecks anzutreffen.

Neben den aus den Pumpversuchen abgeleiteten hydraulischen Wegsamkeiten geben somit auch die thermodynamischen Befunde eindeutige Hinweise auf aktuelle Zuströmungen kalten Süßwassers in den Salzstockbereich. Dieser Zustrom erfolgt nicht nur durch die Gorlebener Rinne sondern auch über den teilweise erosiv abgetragenen Ringwall und unmittelbar vertikal auf eistektonischen Störungsflächen.

2.5 Süß- und Salzwasserverteilung und /Alter der NaCl-Solen über dem Salzstock

In der Abb. 7 ist die Verteilung der Gesamtsalzgehalte im unteren Grundwasserleiter dargestellt. Der in der Originalfassung der Abbildung eingetragene Abbildungstitel trägt noch den m. E. irreführenden Zusatz „an der Basis des unteren Grundwasserleiters“, der im Widerspruch zu den o.a. Anmerkungen zur Anzahl der im unteren Bereich des hier betrachteten Aquifers verfilterten Messstellen steht. Danach gibt die Abb. 7 allenfalls einen ersten Einblick in die Süß- und Salzwasserverteilung im unteren Aquifer. Unmittelbar über dem Salzspiegel bzw. im Hutgestein kann somit eine andere Konzentrationsverteilung gegeben sein.

Die Darstellung in Abb. 7 lässt sich durch eine einfache An- und Abstrombetrachtung deuten. Auf der Anstromseite im Südosten, die gleichzeitig ein Grundwasserneubildungsgebiet ist, treten geringe Salzgehalte auf. Über dem Salzstock erfolgt in der Gorlebener Rinne ein Aufsalzung des unteren Grundwasserleiters, die zu erhöhten Salzgehalten in der Nordwest-(NW)-Randsenke, also auf der Abstromseite führt.

Die über der Südwesthälfte des Salzstocks im Bereich des Hebungskranzes auftretenden Süßwässer im unteren Aquifer liegen höher als in den Rinnen- bzw. Randsenkenbereichen und sind nach Auffassung des Verfassers auf vertikale Wegsamkeiten zwischen tertiärem Hebungskranz und der Rinnenfüllung aus der Eiszeit zurückzuführen. Dieser Grenzbereich stellt eine generelle Schwachstelle analog zu einem schlecht plombiertem Zahn dar. Über die undichte Grenzfläche zwischen Plombe (Eiszeit-Rinnenfüllung) und hohlem Zahn (Hebungskranz) gelangen Bakterien (lösungsfähige Süßwässer) bis zur Zahnwurzel (Salzstock) und können dort die hinlänglich bekannten Probleme bewirken.

Im Bereich des Salzstocks Gorleben treten hoch mineralisierte NaCl-Solen (>200 mg/l Gesamtsalzgehalt) mit stark unterschiedlichen Sauerstoff-Isotopensignaturen auf. Dabei handelt es sich um z.T. reine Warmzeitsignaturen und z.T. um reine Kaltzeitsignaturen sowie um Mischsignaturen (s. Abb. 10).

Wässer mit Signaturen aus der Kaltzeit wurden in der Gorlebener Rinne nur im südlichen und mittleren Abschnitt nachgewiesen, während Wässer mit Warmzeitsignaturen im mittleren und nördlichen Rinnenbereich vorkommen. Die in der Warm- und Kaltzeit geprägten Wässer treten dabei überwiegend im tiefsten Teil des Rinnenaquifers auf, während Wässer mit Mischsignaturen vorherrschend im oberen Bereich des Aquifers angetroffen werden *(Klinge et al.: 2007, S 87).* Dieser Aussage kann allerdings wegen der überwiegend fehlenden Messstellen im tieferen Abschnitt des unteren Grundwasserleiters (s.o.) nicht ganz gefolgt werden. Hier wäre eine detaillierte Dokumentation der Probenahmepunkte und –tiefen mit Zuordnung zu den verschiedenen Grundwasserleitern hilfreich.

Welche Sauerstoff-Isotopen-Signaturen die Grundwasser im südwestlichen Salzstockbereich innerhalb der fossilen Subrosionssenke und im Hutgestein unterhalb der stark gestörten alttertiären Restdecke haben, geht aus den Standortbeschreibungen nicht hervor. Offensichtlich wurde in diesem für die geplante Endlagerung vorgesehenen und somit sensiblen Salzstockbereich eine nur unzureichende Anzahl von Messstellen gesetzt und untersucht. Belastbare Aussagen über alte und rezente Grundwasserbewegungen in diesem Teil des Salzstocks können somit nicht getroffen werden.

Auch bei diesem Themenbereich kann dem hydrogeologischen Untersuchungsprogramm Gorleben allenfalls ein orientierender Charakter zugesprochen werden. Eine ausreichend abgesicherte Datenbasis, die auch für einen Langzeit-Sicherheitsnachweis tauglich ist, ist bei weitem nicht erreicht.

Anhand der 14C-Gehalte in den Wässern kann dennoch geschlossen werden, dass es sich bei den in der Gorlebener Rinne angetroffenen

NaCl-Solen mit Warmzeit-Isotopensignatur mit großer Sicherheit um nacheiszeitlich infiltrierte, holozäne Wässer handelt, die durch den Kontakt mit dem Zechsteinsalinar aufgesalzen wurden. Eine Entstehung dieser Wässer im Verlauf pleistozäner Warmzeiten ist dagegen mit Sicherheit auszuschließen *(Klinge et al: 2007, S. 91)*.

2.6 Rezente Grundwasserbewegungen

Von 1979 bis Mitte 1994 sind im Untersuchungsbereich südlich der Elbe in 14-tägigem Abstand in insgesamt 324 Grundwassermessstellen manuelle Wasserstandsmessungen vorgenommen worden. Nördlich der Elbe wurden entsprechende Messungen in der Zeit zwischen 1997/908 bis Ende 2000 teils als manuelle Messungen, teils mit elektronischen Aufzeichnungssystemen durchgeführt.

In *KLINGE. et al. (2007)* ist ein Grundwassergleichenplan des oberflächennahen Grundwassers dargestellt, aus dem im Südosten des Salzstocks Gorleben (südöstlich von Prezelle) eine Hochlage des Grundwasserspiegels hervorgeht. Angaben zu welcher Zeit die dem Gleichenplan zugrundeliegende Stichtagsmessung durchgeführt wurde bzw. ob es sich um eine Sommer- oder Wintermessung handelt, fehlen.

Von der Hochlage (potentielles Neubildungsgebiet) aus erfolgt der Grundwasserabstrom sowohl in westliche bis nordwestliche Richtung, also nahezu elbparallel, als auch in nördliche Richtung auf die Elbe bzw. die Seege zu (s. Abb. 11).

Nördlich der Elbe ist ein mehr oder weniger stark ausgeprägter elbparalleler Abstrom ausgebildet, der durch die Wasserhaltung im Rhinowkanal (Pumpwerk Garz) deutlich überprägt ist (dauerhafte Grundwasserabsenkung um ca. 1 m). Erst nördlich der Löcknitz ist ein Zustrom von der Mecklenburger Geest erkennbar.

Eigene Grundwasserneubildungsgebiete bilden der Höhbeck über dem Nordteil des Salzstocks Gorleben und die Langendorfer Geestinsel im Westen.

Vergleichbare Darstellungen der Grundwasserstände in Form von Grundwassergleichenplänen der tieferen Grundwasserleiter - z.B. in den Randsenken, der fossilen Subrosionssenke und der Gorlebener Rinne - liegen nicht vor. Lediglich für einen schmalen elbparallelen Bereich in Höhe der Löcknitz und des Rhinowkanals existiert eine Darstellung des Druckspiegels im Süßwasserkörper des unteren Grundwasserleiters. Daraus kann für diesen Bereich auf einen elbparallelen Abstrom geschlossen werden.

Auch wenn infolge der unterschiedlichen Salzgehalte im unteren Grundwasserleiter derartige Darstellungen auch nicht allein aus Messungen der Grundwasserspiegelhöhen ableitbar sind, hätte zumindest eine Darstellung der Druckspiegeldifferenzen zwischen den verschiedenen Wasserleitern (sofern verfiltert) Hinweise auf vertikale Wegsamkeiten liefern können.

Im Zusammenhang mit den im Rahmen des hydrogeologischen Untersuchungsprogramms durchgeführten Bohrlochmessungen zur Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit des Porenwassers und Porenwasserdruckmessungen wären jedoch sicherlich auch flächenhafte Ableitungen der Druckgradienten in verschiedenen Tiefenniveaus und somit der Salzwasserbewegungen möglich gewesen.

Dass es zwischen den in verschiedenen Tiefen gefilterten wasserführenden Horizonten unterschiedliche Richtungen der hydraulischen Gradienten gibt, geht aus den Abbildungen 12 und 13 hervor. So liegt im Bereich der Messstellengruppe GoHy 190 in der Südost-Randsenke (s. Abb. 12) generell ein nach unten gerichteten hydraulischen Gradienten vor.

In der Messstellengruppe GoHy 208 hingegen (s. Abb. 13) liegen die Druckspiegel der in einem wasserführenden Horizont innerhalb des miozänen Hamburger Tons verfilterten Messstelle GoHy 283 sowohl bei den Spitzenwerten als auch bei den Minima fast immer höher als die zeitgleich gemessenen Wasserstände in den Niederterrassensanden und –kiesen.
Zwischen diesen beiden Horizonten ist somit der hydraulische Gradient nach oben gerichtet. Es handelt sich somit um einen Wasseraufstiegsbereich.

Zwischen der Messstelle GoHy 283 und der in den miozänen Braunkohlensanden verfilterten Messstelle GoHy 284 ist jedoch wieder ein nach unten gerichteter Gradient vorhanden.

Es wäre wünschenswert gewesen, wenn mehr als zehn Jahre nach Abschluss des übertägigen Erkundungsprogramms im Rahmen einer umfassenden Standortbeschreibung und Gesamtdarstellung der hydrogeologischen Verhältnisse des Deckgebirges über dem Salzstock Gorleben auch eine differenzierte und nachvollziehbare Auswertung und Darstellung der Wasserstands-

messungen aus unterschiedlichen wasserführenden Horizonten vorgenommen worden wäre.

Stattdessen wird mittels verschiedener Modellrechnungen, deren „Aussagekraft aufgrund der grundlegenden Vereinfachung einer konstanten Porenwasserdichte“ stark eingeschränkt ist bzw. die wegen „fehlender Erfahrung mit der Modellierung von komplexen Süß-/Salzwassersystemen mit hohen Konzentrationsunterschieden an die Grenzen von Wissenschaft und Technik führten *(Klinge et al.: 2007, S.112-113)*“ versucht, imaginäre Laufzeiten des Porenwassers von verschiedenen Startpunkten an der Salzstockoberfläche bis zur Biosphäre zu berechnen (s. Abb. 14).

Das Fazit der Modellrechner ist jedoch, dass „belastbare Daten im Hinblick auf die Quantifizierung des Salzwasseraustrages und die Transportzeiten (letztendlich auch für Freisetzung von Radionukliden über den Grundwasserpfad) aus diesen Modellrechnungen aufgrund ihrer noch zur Forschung zählenden Grundlagen nicht abgeleitet werden können *(Klinge et al.: 2007, S.115).*“

Die Schlussfolgerung der Autoren, dass „bezüglich der Strömungsgeschwindigkeiten und Fließzeiten aus der Gorlebener Rinne die Ergebnisse der dreidimensionalen Süßwassermodelle als konservativ angesehen werden können“, erscheint insbesondere im Hinblick auf eine Langzeitprognose (Sicherheit des Endlagers für eine Million Jahre) bei der lückenhaften Datenlage mehr Wunschdenken zu sein als wissenschaftlich nachvollziehbar.

2.7 Glazigene Deformationen

Eiszeitlich bedingte Störungen der Lagerungsverhältnisse (Verschuppungen von unterschiedlich alten Schichten) mit Steilstellungen des Schichtenverbandes (im Hamburger Ton mit bis zu 90 Grad belegt) treten sowohl über dem Salzstock (z.B. Höhbeck) als auch in den benachbarten Randsenken auf. Die glazigenen Störungen erreichen einen Tiefgang von bis zu 150 m (*Duphorn 1983; Köthe et al. 2007)* und somit örtlich bis unter die Quartärbasis.

Nach *Köthe et al. (2007, S. 153)* wird der Salzstock selber von diesen Störungen nicht berührt. Die infolge der eistektonischen Beanspruchung geschaffenen Störungszonen stellen dennoch potenzielle Wasserwegsamkeiten dar, die bis hinab zum Salzstock reichen können.

2.8 Scheitelgräben

Durch halokinetische Aufstiegsbewegungen von Salzstöcken werden die Deckschichten über dem Salz mit angehoben und aufgewölbt. Infolge der damit verbundenen Dehnungsbeanspruchung können über dem Salzstockdach annähernd salzstockparallele Abschiebungen entstehen, die dort eine abgesenkte Scholle (Scheitelgraben) begrenzen.

Solche Scheitelstörungen wurden über der Salzstruktur Gorleben-Rambow im tertiären Deckgebirge im Bereich zwischen Lenzen und der Elbe nachgewiesen. Diese salzstockparallelen Störungszonen reichen offensichtlich weiter nach Süden über die Elbe hinweg und verlieren sich dann im Anschnittbereich der Gorlebener Rinne *(Köthe et al. 2007, S. 161, Abb. 35)*.

Bemerkenswert ist jedoch die Inkonsistenz der Darstellung der Scheitelstörungen in den Profilschnitten der Teile 1 und 2 der Standortbeschreibungen Gorleben. Folgerichtig und hydraulisch von besonderer Bedeutung, reichen in *Klinge et al. (2007, S 136, Abb. 58)* die Scheitelstörungen vielfach von der Quartärbasis bis hinab zum Zechsteinsalinar und zeigen somit potenzielle Wasserwegsamkeiten auf (s. Abb. 15).

In dem durch die selben Bohrungen verlaufenden Profilschnitt A-A in *Köthe et al. (2007, Tafel 1, Abb. 10)* sind hingegen die Störungen allesamt unterbrochen und suggerieren dadurch eine scheinbare Undurchlässigkeit (s. Abb. 16). Im seismischen Profilschnitt aus diesem Bereich *vergl. Köthe et al. (2007, Abb. 30, Profil 9502)* werden die Störungen hingegen wieder durchgängig von der Quartärbasis bis zum Zechsteinsalinar dargestellt.

Scheitelstörungsartige Abschiebungen wurden jedoch auch südwestlich davon von der Südwestspitze des Salzstocks bis annähernd in Höhe des Erkundungsbergwerks im nordwestlichen Hebungskranz und untergeordnet auch im südöstlich Hebungskranz angetroffen. In diesem Zu-sammenhang gewinnt die von *Duphorn (1983)* postulierte Scheitelstörung im Südwestteil des Salzstocks erneut an Bedeutung.

Auch hier werden die Darstellungen der Störungen widersprüchlich dargestellt. Während im seismischen Profil aus diesem Bereich *KÖTHE et al. (2007, Abb. 30, Profil 0010)* am nordwestlichen Hebungswall die Störungen nur von den unteren Braunkohlensanden bis maximal in die mitteleozänen Schichten reichen, sind sie

in der gleichen Publikation auf Tafel 3, Abb. 33 als bis zur Basis der tertiären Schichtenfolge und somit bis zum Zechsteinsalinar hinabreichend dargestellt.

Ob es sich bei diesen Inkonsistenzen nur um handwerkliche Fehler, also mangelhafte Sorgfalt bei der Ausarbeitung der Abbildungen handelt, oder ob durch die unterschiedlichen Darstellungen der tatsächliche Sachverhalt verschleiert und der Betrachter bewusst in die Irre geführt werden soll, liegt nicht in der Entscheidung des Verfassers.

Grundsätzlich schmälert es jedoch das Vertrauen in eine seriöse Bearbeitung der für eine Langzeit-Sicherheitsanalyse erforderlichen geologischen und hydrogeologischen Interpretation der Befunde. Die BGR wird dadurch dem in allen drei Teilen der Standortbeschreibung Gorleben selbst gestellten Anspruch, das alle im Rahmen der über- und untertägigen Erkundungen anfallenden Ergebnisse von der BGR interpretiert und dargestellt werden und dass die Ergebnisse der Erkundung und der Sicherheitsanalyse die Basis sind für die Standortbewertung und das anschließende atomrechtliche Verfahren, bei weitem nicht gerecht.

2.9 Der Salzstock Gorleben, Gipshut, Salzspiegel, Kaliflöz Staßfurt und Permafrostspalten

Infolge des halokinetischen Salzaufstieges sind die ursprünglich söhlig, d.h. flach gelagerten Gesteine des Zechsteinsalinars aus über 3000 m Tiefe bis an die Erdoberfläche gehoben und dabei z.T. intensiv gefaltet worden.

Der Salzspiegel, die Grenzfläche zwischen dem sogenannten Gipshut und dem unterlagernden Salinar, liegt nach *Bornemann (1991)* über dem Salzstock Gorleben zwischen rund 340 m und 160 m unter NN.

Der Salzspiegel hat in der Gorlebener Rinnen z.T. unmittelbaren Kontakt mit Schmelzwassersanden aus der Elsterkaltzeit. Auf einer Fläche von ca. 7,5 km^2 ist zwischen den Ablagerungen aus der Eiszeit und dem Salzspiegel nur noch das lösungsresistente Hutgestein erhalten (s. Abb. 18).

Im südwestlich der Gorlebener Rinne sowie im Übergangsbereich zum Salzstock Rambow wird das Hutgestein von z.T. stark gestörten tertiären Ablagerungen (meist Paläozän und Untereozän) überdeckt.

Aus dem schematischen Profilschnitt durch den Salzstock Gorleben (s. Abb. 19) wird der Internaufbau des Salzstocks ersichtlich. Im Kern des Salzstocks ragt das für die Anlage des Endlagerbergwerkes vorgesehene Staßfurt-Steinsalz bis zum Salzspiegel auf. Es wird flankiert von dem leicht löslichen Kaliflöz Staßfurt und daran anschließend von dem grauen Salzton und dem Hauptanhydrit.

Zu den Salzstockrändern folgen dann die jüngeren Salzgesteine der Leine- und der Aller-Folge. Eine Besonderheit stellt der Salzstocküberhang an der Südostflanke dar, der weitgehend aus dem Steinsalz der Staßfurt-Folge besteht.

Im Hinblick auf die Errichtung eines Endlagers für radioaktive Abfälle kommt den über der geplanten Einlagerungssohle anstehenden Salzgesteinen, also dem Wirtsgestein, eine besondere Bedeutung zu. Sie stellen die erste geologische Barriere für eventuell austretende Radionuklide dar. Über diesen sogen. einschlusswirksame Gebirgsbereich dürfen nach den Mindestanforderungen des AKEnd (2002) „keine Erkenntnisse oder Daten vorliegen, welche die Einhaltung der geowissenschaftlichen Mindestanforderungen zur Gebirgsdurchlässigkeit, Mächtigkeit und Ausdehnung über einen Zeitraum in der Größenordnung von einer Million Jahren zweifelhaft erscheinen lassen“.

Unter Berücksichtigung dieser Mindestforderung müssen potenzielle Schwachstellen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich erkannt, aufgesucht und untersucht sowie analysiert und bewertet werden.

Zwei eng miteinander verbundene, jedoch völlig unterschiedliche potenzielle Schwachstellen im Wirtsgestein stellen das leicht lösliche Kaliflöz Staßfurt und der eng angrenzende, spröde, durch Brüche zerrüttete Hauptanhydrit im Grenzbereich zu den jüngeren Gesteinen der Leine-Folge dar. Diese Schichten sind intensiv verfaltet, stehen steil und reichen letztendlich vom Salzspiegel bis hinab zum Fuß des Salzstocks in über 3000 m Tiefe. Am Salzspiegel reißen sie infolge der sukzessiven Subrosion linienartig und in der Längsachse des Salzstocks erstreckt aus.

In einer Reihe von Aufschlussbohrungen im zentralen Bereich der Gorlebener Rinne, die quer zum Streichen des Kaliflözes und des Hauptanhydrits niedergebracht wurden (s. Abb. 20), wurde nachgewiesen, dass das Kaliflöz bis in eine Tiefe von bis zu 130 m unter den Salzspiegel, d.h. bis rund 381 m unter NN, vollständig abgelaugt

ist. Bis in diese Tiefe reichen auch Einlagerungen von Deckgebirgsmaterial. Tiefer reichende Einwirkungen von Grundwasser sind bis ca. 170 m unter den Salzspiegel (-421 mNN) durch die kainitische Ausbildung des Kaliflözes belegt *(Bornemann et. al. 2008, S. 41)*.

Bis zum geplanten Erkundungsbereich des Endlagerbergwerks verbleiben somit nur noch eine Salzfirste von 419 m. Es kann grundsätzlich nicht ausgeschlossen werden, dass es im Salzstockbereich weitere und ggfs. noch tiefer reichende vorauseilende Auflösungserscheinungen im Kaliflöz Staßfurt gibt. Wegsamkeiten für lösungspotente Grundwässer sind über den Hauptanhydrit sicherlich zur Genüge gegeben. Eine gezielte Erkundung dieser Bereiche ist nicht erfolgt. Es wird diesbezüglich nur angemerkt, dass *„eine solche tiefer greifende Subrosion am Kaliflöz nur dann vorkommt, wenn das Flöz in überkippter Lagerung ange-troffen wird und dass über dem geplanten Endlagerbereich....keine überkippte Lagerung ... erwartet wird“*.

Zwischen Erwartung und Befund klaffen jedoch auch noch andere Spalten. So wird in einer BGR-Studie zur Untersuchung und Bewertung von Salzformationen (BGR 1995, S. 19) ausgeführt, dass
„das Aufreißen von klaffenden Brüchen im höheren Teil von Salzkörpern als Folge der Einwirkung des Permafrostes während des Pleistozäns und ihre spätere Verfüllung mit pleistozänem Lockermaterial von BAUER (1992) nachgewiesen worden ist. 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 können. Wir haben diese Kriterium wegen unzureichender Datenbasis nicht in unsere Betrachtungen einbezogen, möchten aber auf diese negative Tatsache aufmerksam machen (vergl.-auch DUPHORN 1986)“.

In den bergmännisch erschlossenen Salzstöcken Bokeloh bei Wunstorf sowie Benthe und Lehrte-Sehnde bei Hannover erreichen die vom Eiszeit-Permafrost induzierten, sogenannten kryogenen Klüfte und Risse im Steinsalz nach *Bauer (1991)* eine Tiefgang bis 600 m (*Duphorn 2000, S. 87)*.

Wird allein der von der BGR akzeptierte Tiefgang von 400 m unter der Quartärbasis auf die Verhältnisse des Salzstocks Gorleben übertragen, so würde von der tiefsten Stelle der Spalten bis zur Einlagerungssohle nur noch eine Restfirste von 140 m verbleiben.

Bornemann et al. (2008, S. 184,185) berücksichtigen diesen kryogenen Aspekt nur bedingt. So werden einerseits in der Nähe des Salzspiegels vorkommende Klüfte in der Salzspiegelbohrung GoHy 1151 wegen des flachen Einfallens als Entlastungsklüfte nach dem Eisrückzug angesehen. Andererseits wird im Falle „einer angenommen zukünftigen Kaltzeit vom Typ `Weichsel´ nicht mit einer Kluftbildung im Steinsalz gerechnet.

Festzuhalten ist, dass sowohl vorauseilende Lösung des Kaliflözes Staßfurt stattgefunden hat und dass es neben kaltzeitlich bedingten, wenn auch flach einfallenden Klüften auch noch offene Klüfte gibt, die im Rahmen der Schacht- und Streckenauffahrungen entweder direkt oder indirekt infolge von zulaufenden Salzlösungen nachgewiesen wurden. Letzteren wird wegen der nachlassenden Zulaufmengen nur eine begrenzte Ausdehnung zugesprochen. Aus dem zerblockten Hauptanhydrit und dem sekundären Steinsalz in Störungszonen im Grenzbereich zwischen der Staßfurt- und Leine-Folge sind jedoch Zuflüsse mit bis zu 100 m^3 belegt *(Bornemann et. al. 2008, S. 183)*.

So umfangreich und wissenschaftlich ergiebig die über- und untertägige Erkundung des Salzstocks Gorleben auch gewesen ist, so unsicher sind dennoch eine Reihe von sogenannten Negativbefunden (z.B. vorauseilende Auflösung des Kaliflözes, kryogene Spalten oder flachliegende Entlastungsklüfte, Laugen- und Gasvorkommen im Wirtsgestein) abschließend zu bewerten. Allein aufgrund der solitären Nachweise muss letztendlich jedoch damit gerechnet werden, dass solche Indikationen bei einer weitergehenden Erkundung erneut angetroffen werden und somit zu eine Häufung von sicherheitsrelevanten Negativdaten führen.

Infolge von langfristig nicht auszuschließenden Laugenzuflüssen in den Endlagerbereich kann es bei der dann sukzessive erfolgenden Korrosion der Abfallbehälter und des eingelagerten Materials selber zur starken Gasbildung kommen. Bedingt durch den im verschlossenen Endlager entstehenden Gasüberdruck kann es zur Bildung von sekundären Permeabilitäten und Porositäten kommen. Zusätzlich zu den o.a. beschriebenen, vom Salzspiegel aus nach unten gerichteten Schwächezonen würden dann weitere die verbleibende Restfirste über dem Einlagerungsbereich von unten angreifen.

Nach der Einlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle kann die Temperatur im Endlagerbereich bis ca. 200° C ansteigen. Hierdurch bedingt kommt es im Wirtsgestein zu Veränderungen der rheologischen Eigenschaften und zu weiteren Spannungen. Infolge der Temperaturerhöhung verringert sich die Viskosität des Steinsalzes, d.h. es wird mobiler und „dünnflüssiger". Die Aufstiegstendenz wird dadurch erhöht. Es wird mit thermisch induzierten Hebungen an der Erdoberfläche von bis zu 4 m gerechnet.

Innerhalb des Salinars können sich infolge der thermisch bedingten Mobilisierung des „relativ leichten" Steinsalzes aber auch Dichteunterschiede zu den „relativ schwereren" Anhydritlagen auswirken. Der ohnehin zerklüftete Hauptanhydrit reißt weiter auf und kann wegen der größeren Dichte sukzessive nach unten absinken. In eindrucksvoller Weise ist dies modellhaft von *Chemia, Z., Schmeling, H., Koyi, H. (2009)* für den Salzstock Gorleben abgeleitet worden.

3. Zusammenfassende Schlussbetrachtung

Die über- und untertägige Erkundung des Salzstocks Gorleben (Süd- und Nordteil) ruht seit dem 1. Oktober 2000 infolge des zwischen der Bundesregierung und den Energieversorgungsunternehmen vereinbarten Moratoriums.

Über die in der Zeit von 1979 bis 1984 (Südteil) bzw. von 1996 bis 1998 (Nordteil) durchgeführten übertägigen Erkundungsarbeiten und die von 1986 bis 2000 laufenden untertägigen Erkundungen ist in der Vergangenheit z.T. kontrovers diskutiert und publiziert worden.

Eine erste, für die damaligen Verhältnisse sehr umfassende und in weiten Teilen auch heute noch aktuelle Dokumentation und Interpretation der übertägigen Erkundungen wurde von *Duphorn (1983)* vorgelegt.

Rund zehn Jahre nach Beendigung des übertägigen Untersuchungsprogramms und acht Jahre nach Einstellung der untertägigen Erkundung sind in drei Teilen Standortbeschreibungen zur Hydro-geologie *Klinge et al. (2007)*, zur Geologie des Deckgebirges *Köthe et al. (2007)* und zum Salinar *Bornemann et al. (2008)* publiziert und von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe herausgegeben worden. In einem vierten Teil sollen die geotechnischen Untersuchungen beschrieben werden.

Die Berichte in Teil 1 (Hydrogeologie) und Teil 2 (Geologie des Deckgebirges) sollen jeweils für sich eine Gesamtdarstellung der Ergebnisse darstellen. Der Teil 3 (Salinar) fasst schwerpunktmäßig die Resultate der bis zum Beginn des Moratoriums durchgeführten Untersuchungen des Salinars zusammen.

Seitens der BGR wird betont, dass *„alle Untersuchungsergebnisse, die bei den über- und untertägigen Erkundungsarbeiten anfallen, von der BGR interpretiert und dargestellt werden und dass die Ergebnisse der Erkundung und der Sicherheitsanalyse Basis sind für die Standortbewertung und das anschließende atomrechtliche Genehmigungsverfahren"* (jeweils in der Einleitung zu den o.a drei Teilen der Standortbeschreibungen enthalten).

Während in den Standortbeschreibungen Teil 1 und Teil 2 (Hydrogeologie und Geologie des Deckgebirges) hinsichtlich einer Eignung des Salzstocks Gorleben für ein Endlager für radioaktive Stoffe keine Aussagen getroffen werden, führen *Bornemann et al (2008)* aus, dass *„trotz der bislang noch nicht abgeschlossenen Erkundung des EB1 nach den bisherigen Untersuchungen festgestellt werden kann, dass aus geowissenschaftlicher Sicht keine Erkenntnisse aus dem Studium des Salinars gegen die Langzeitsicherheit des Salzstocks Gorleben vorliegen und dass das Hauptsalz der Staßfurt-Folge als potenzielles Wirtsgestein für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in ausreichendem Maße zur Verfügung stehen wird".*

Der Autor der vorliegenden Expertise zum Salzstock Gorleben kommt nach intensiver Durchsicht der drei Teile der Standortbeschreibung Gorleben und unter Berücksichtigung der aktuellen Ereignisse am Endlagerstandort ASSE II zur Auffassung, dass der geforderte sichere Einschluss der radioaktiven Abfälle für einen Zeitraum von einer Million Jahren am Standort Gorleben mehr als zweifelhaft ist. Die Untersuchung alternativer Standorte ist dringend geboten. Die Laufzeit des Gorleben-Moratoriums ist bis auf weiteres zu verlängern.

Diese Auffassung begründet sich wie folgt:

Die im Teil 1 und 2 der Standortbeschreibung Gorleben enthaltenen Gesamtdarstellungen der Untersuchungsergebnisse sollen die Grundlagen für die Abschätzung und Berechnung einer eventuellen Nuklidausbreitung im Deckgebirge im Rahmen von Szenarienbewertungen zur Langzeitsicherheit des Endlagers bzw. hinsichtlich

Subrosion, Diapirismus, glaziale Rinnenbildung liefern (*Klinge et al (2007, S 12 und Köthe et al 2007, S 12)*

Aufgrund methodisch ungenügender Ansätze wie zum Beispiel:

- Nichtberücksichtigung der Niederschlagsdaten nach 1997 (evtl. sogar nach 1980) zur Ermittlung der Grundwasserneubildung.
- Abbruch des Pumpversuchs Dömitz-Lenzen wegen Elbhochwasser; deswegen keine Aussagen über hydraulische Kontakte zum oberen Grundwasserleiter möglich.
- Nichtberücksichtigung des Salzstocks Rambow inkl. der aufsitzenden Subrosionsseen.
- Unzureichende Anzahl von Messstellen im unteren Grundwasserleiter
- Ungenügende und lückenhafte Untersuchung im südwestlichen Salzstockbereich hinsichtlich der Alterseinstufung der hier verbreiteten Grundwässer.
- Fehlende Auswertung der Grundwasserstände in den tieferen wasserführenden Horizonten.
- Zu pauschale Zusammenfassung der verschiedenen wasserführenden Horizonte in unteren und oberen Grundwasser. Die Lagerungsverhältnisse im Bereich des Untersuchungsgebietes sind zu heterogen, als dass die sowohl stratigrafisch als auch genetisch und petrografisch unterschiedlichen grundwasserführenden Einheiten mit einem auf zwei Wasserleiter zurecht gestutzten Modell realitätsnah wieder gegeben werden könnten.
- Nutzung und Interpretation von Daten aus noch nicht validierten Grundwassermodellen.
- Fehlende Untersuchung von eventuellen Wasserwegsamkeiten im Bereich des nachgewiesenen Scheitelgrabens.

Auch wegen z.T inkonsistenter Auswertungen der Bohrbefunde (mangelnde Sorgfalt bei der Auswertung oder Vorsatz?) können die vorliegenden Standortbeschreibungen dem o.a. Anspruch nicht gerecht werden. So sollten innerhalb eines Hauses die grafischen Darstellungen verschiedener Abteilungen von lagemäßig identen Bohrprofilen auch die gleichen Informationsgehalte aufweisen.

Wenngleich bei der untertägigen Erkundung des Salzstocks Gorleben ein für die Einlagerung von radioaktiven Abfällen offensichtlich ausreichendes Vorkommen vom Hauptsalz der Staßfurtfolge nachgewiesen werden konnte, gibt es eine Vielzahl von negativen Einzelbefunden wie z.B.:

- Vorauseilende Auflösung des Kaliflöz Staßfurt bis in Tiefen von 170 m unter den Salzspiegel
- Kaltzeitbedingte Entlastungsklüfte in der Nähe des Salzspiegels
- Lösungs- und Laugenzutritte bis 100 m^3
- Von der Quartärbasis bis zum Zechsteinsalinar hinabreichende Scheitelstörungen im Tob des geplanten Endlagerbergwerks (Analogie ASSE II)

Diesen Einzelbefunden ist bislang nicht gezielt nachgegangen worden. Vielmehr werden diese i.d.R. mit der durch keine Zusatzbefunde belastbar belegten Bemerkung *„mehr ist nicht zu erwarten“ bagatellisiert*.

In der Gesamtschau ergibt sich folgendes Negativbild:

Neben den unmittelbaren großflächigen Kontakten zwischen den Grundwasserleitern in der Gorlebener Rinne und dem Salzstock Gorleben sind intensive Störungen in den geringmächtigen tertiären Deckschichten des südlichen Salzstockbereichs (fossile Subrosionssenke) sowie, bis zum Zechsteinsalinar hinabreichend, in den für weitgehend undurchlässig gehaltenen Schichten des Hebungskranzes belegt. Die wasserführenden Hohlräume im Hutgestein stehen in direktem hydraulischen Kontakt zum unteren Grundwasserleiter.

Über dem südlichen Teil des Salzstocks Rambow wurden ausgeprägte Scheitelstörungen nachgewiesen. Diese erstrecken sich offensichtlich bis zur Südspitze des Salzstocks Gorleben. Sie sind kartenmäßig dargestellt, werden jedoch im Text nicht weiter erwähnt.

Im Top des Salzstocks Gorleben ist durch methodisch unterschiedliche Untersuchungen der Zustrom von lösungspotenten Süßwässern bis zur Basis der Deckgebirgsschichten über dem Salzstock nachgewiesen. Diese Zutritte von jungen Süßwässern bis hinab zum Salzspiegel erfolgen nicht nur über die Gorlebener Rinne, sondern auch über den teilweise abgetragenen Ringwall und über eistektonische Störungsflächen und vermutlich auch über Scheitelstörungen.

Im zentralen Bereich der Gorlebener Rinne traten bis in eine Tiefe von 170 m unter den Salzspiegel Einwirkungen von Grundwasser auf das leicht lösliche Kaliflöz Staßfurt auf. Einträge von Deckgebirgsmaterial wurden bis in vergleichbare Tiefen festgestellt.

Weitere und tiefer reichende Lösungsgänge sind nicht auszuschließen. Sie können nach dem

Auffahren der Endlagerbereiche durch die danach einsetzende Deformation der Hohlräume, nach der Einlagerung wärmeproduzierender Abfälle durch Aufheizung und die dadurch bedingte Ausdehnung der Salzgesteine und die damit verbundenen Einwirkungen auf das Deckgebirge verstärkt werden.

Für den Standort Gorleben ist letztendlich nicht allein die Fragestellung „wie lange brauchen Radionuklide von der Endlagersohle über den Wasserpfad bis in die Biosphäre“ von prioritärer Bedeutung sondern vielmehr die Frage „Wie schnell säuft das Endlagerbergwerk ab?“.

Eine Antwort auf diese Frage steht bislang aus. Bei der Asse wurde sie nach wenigen Jahrzehnten durch die Natur beantwortet.

Kiel, den 16.08.2009
Ulrich Schneider

4. Literaturverzeichnis

AKEnd (2002): Auswahlverfahren für Endlagerstandorte – Empfehlungen des Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AKEnd), Abschlussbericht, Dezember 2002, 262 S.

BAUER, G (1991): Kryogene Klüfte in norddeutschen Salzdiapiren? –Zbl. Geol. Paläontol., Teil 1, Heft 4: 1247-1261, 9 Abb.; Stuttgart.

BGR (1995): Endlagerung stark wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in tiefen Geologischen Formationen Deutschlands. Untersuchung und Bewertung von Salzformationen - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 4 Anl., 1 Anh., 5 Abb., 16 Tab.; Hannover.

BORNEMANN, O. (1991):, mit einem Beitrag von R. FISCHBEK: Zur Geologie des Salzstockes Gorleben.- BfS-Schriften, 4/91: 66 S., 13 Abb., 24 Anl., Salzgitter

BORNEMANN, O. et al. (2008): Standortbeschreibung Gorleben Teil 3: Ergebnisse der über- und untertägigen Geologischen Erkundung des Salinars,- Geol. Jb., **C 73**; 50 Abb., 7 Tab., 5 Anl., Hannover.

CHEMIA, Z., SCHMELIN, H. KOYI, H., (2009): The effect of salt viscosity on future evolution of the Gorleben salt diapir, Germany: Tectonophysics 473, 446-456

DUPHORN, K., (1983): Quartärgeologische Gesamtinterpretation Gorleben.
- Abschlussbericht im Auftrag der PTB: 265 S., Kiel – Wellington/Neuseeland.

(1987): Die quartäre Subrosion am Endlager-salzstock Gorleben.-
Eine vergleichende Betrachtung der Arbeitsmethoden, Bohrbefunde, Deutungen und sicherheitsgeologischen Betrachtungen: Meyniana, 3; S. 41-69, 12 Abb., 1 Taf., Kiel.

(2008): Salzstock Gorleben.- Wendlandlexikon, **Band 2**, L-Z; S. 325-334, 3 Abb.; Schriftenreihe d. heimatkdl. Arbeitskreises Lüchow-Dannenberg, Band 13.

Klinge, H. et al. (2007): Standortbeschreibung Gorleben Teil 1:
Die Hydrogeologie des Deckgebirges des Salzstocks Gorleben,-
Geol. Jb., **C 71**; 59 Abb.,4 Tab, 1 Anl., Hannover.

Köthe, A. et al. (2007): Standortbeschreibung Gorleben Teil 2 :
Die Geologie des Deck- und Nebengebirges des Salzstocks Gorleben,-
Geol. Jb., C 72; 42 Abb. 19 Tab., Hannover.

Teil 2

Die 12 Zweifelsfragen

Zusammenfassung und Stellungnahmen zu den konzeptionellen und sicherheitstechnischen Fragen der Endlagerung radioaktiver Abfälle

anhand des

Syntheseberichts des Bundesamtes für Strahlenschutz

Die 12 Zweifelsfragen

Zusammenfassung und Stellungnahmen zu den konzeptionellen und sicherheitstechnischen Fragen der Endlagerung radioaktiver Abfälle anhand des *Synthesesberichts des Bundesamtes für Strahlenschutz*

Inhalt

1. Vorbemerkungen
2. Ergebnisse und Diskussion der Einzelvorhaben
3. Zusammenfassende Schlussfolgerung des BfS
4. Anmerkungen zu den sogen. Zweifelsfragen aus Sicht des Verfassers unter Berücksichtigung gorlebenspezifischer Aspekte und den Mindestanforderungen des AKEnd
5. Schlussbetrachtung

1. Vorbemerkungen

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) hat zwölf Fragen erarbeitet, die grundsätzlich für alle in Deutschland möglichen Wirtgesteine gelten und geklärt werden müssen.

Im November 2001 wurde die Zielsetzung wie folgt definiert (BMU 2001):

„Zunächst sind konzeptionelle Grundsatzfragen zu klären und Sicherheitskriterien sowie das Auswahlverfahren mit den dazugehörenden Kriterien zu entwickeln und festzulegen.... Eine Gorlebenspezifische Bearbeitung der Fragen ist erst anschließend sinnvoll."

Das Bundesamt für Strahlenforschung (BfS) wurde durch das BMU beauftragt, die Fragestellungen so zu bearbeiten, dass deren Ergebnisse zur Basis für Entscheidungen über die Zukunft des Projektes Gorleben beitragen können. Dabei sind Wechselwirkungen zwischen den Arbeiten und u.a. des Arbeitkreises Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AkEnd) sowie zur Fortschreibung der Sicherheitskriterien von 1983 zu berücksichtigen (BfS).

Die 12 Fragen sind bis auf das Thema Saveguards nach Ausschreibung und Auftragsvergabe durch das BfS bearbeitet worden. Für Fragen zur internationalen Kernmaterialüberwachung (Saveguards) von Endlagern ist das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) zuständig. Dieses Thema wurde in Zusammenarbeit mit dem Kernforschungszentrum Jülich und dem BfS bearbeitet.

Die Einzelberichte zu den 12 Fragen sind einem Peer-Review-Verfahren durch jeweils zwei externe Sachverständige unterzogen worden. Am 28./29.09.2005 wurden im Rahmen eines Workshops die Berichte zu den zwölf Einzelfragen und die Reviews diskutiert.

Das BfS hatte die Aufgabe, aufbauend auf den Ergebnissen der zwölf Fragekomplexe einen Vergleich der Wirtgesteine vorzunehmen. Zu beantworten waren die Fragen:

Sind die sicherheitstechnischen Einzelfragen für unterschiedliche Wirtgesteine verschieden zu beantworten?
und
Resultieren hieraus Vorgaben an ein Endlagerkonzept?

Die zwölf Fragen lauten im Einzelnen:

1. Auswertung von natürlichen und anthropogenen Analoga und ihre Bewertung als vertrauensbildendes Element bei Sicherheitsbewertungen für Anlagen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle **(Naturbeobachtungen)**.

2. Behandlung von Unsicherheiten, systematische Entwicklung von Szenarien und Rechenverfahren bei der Anwendung probabilistischer Methoden im Langzeitsicherheitsnachweis **(Modellrechnungen)**.

3. Bestimmung des natürlichen Isolationspotenzials und des Nachweiszeitraums verschiedener geologischer Strukturen und Wirtsgesteine für die Endlagerung radioaktiver Abfälle **(Isolationspotenzial und Nachweiszeitraum)**.

4. Sicherheitsindikatoren zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern für radioaktive Abfälle **(Sicherheitsindikatoren)**.

5. Geochemische Prozesse bei der Ausbreitung von Schadstoffen aus einem Endlager für radioaktive Abfälle **(Geochemische Prozesse)**.

6. Ermittlung von Art und Menge chemotoxischer Stoffe in allen Arten radioaktiver Abfälle und Bewertung ihrer Freisetzung im Hinblick auf das Schutzziel des Wasserhaushaltsgesetzes **(Chemotoxische Stoffe)**

7. Untersuchung der Gasbildungsmechanismen in einem Endlager für radioaktive Abfälle und der damit verbundenen Auswirkungen auf die Führung des Nachweises der Endlagersicherheit **(Gasbildung)**.

8. Untersuchungen zur Kritikalitätssicherheit in der Nachbetriebsphase eines Endlagers für ausgediente Brennelemente und radioaktive Abfälle **(Kritikalität)**.

9. Untersuchung der menschlichen Einwirkung auf ein Endlager für radioaktive Abfälle und der damit verbundenen Auswirkungen auf die Führung des Nachweises der Endlagersicherheit **(Menschliche Einwirkungen)**.

10. Bedeutung des Mehrbarrierenkonzeptes für ein Endlager für radioaktive Abfälle beim Nachweis der Einhaltung von Schutzzielen **(Mehrbarrierenkonzept)**.

11. Untersuchung der Möglichkeiten und der sicherheitstechnischen Konsequenzen einer Option zur Rückholung eingelagerter Abfälle aus einem Endlager **(Rückholbarkeit)**.

12. Internationale Kernmaterialüberwachung **(Saveguards)** bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle in relevanten geologischen Formationen in Deutschland.

Nachfolgend werden die Berichte zu den o.a. Fragen, die Reviews und die vom BfS vorgenommenen Bewertungen komprimiert vorgestellt. Im Kapitel 4 werden die Kernaussagen zu einigen der Fragenkomplexe aus Sicht des Verfassers der vorliegenden Studie beleuchtet. Die in den nachstehenden Ausführungen angegebenen Seitenzahlen beziehen sich auf den Originaltext des Syntheseberichts des BfS.

2. Selektive Zusammenfassung der Einzelvorhaben

Frage 1:

Auswertung von natürlichen und anthropogenen Analoga und Ihre Bewertung als vertrauensbildendes Element bei Sicherheitsbewertungen für Anlage zur Endlagerung radioaktiver Abfälle (Naturbeobachtungen).

Zur näheren Erläuterung dieser Frage wurde vom BfS folgende Zusatzfrage aufgestellt:

Welche Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung natürlicher und /oder antropogener Analoga für die Sicherheitsanalyse und Sicherheitsbewertung eines Endlagers sind gegeben?

Grundlagen für die Bearbeitung dieses Themenkomplexes war eine Inventarisierung und Beschreibung der relevanten Prozesse in einem Endlager für alle Arten von radioaktiven Abfällen (S. 23-28). Hierzu wurden zahlreiche Sicherheits- und Szenarienanalysen ausgewertet. Insgesamt sind dabei Studien an kristallinem Gestein überrepräsentiert. Die Bearbeitung des Fragenkomplexes sollte sich auf die potenziellen Wirtsgesteine beziehen, die in Deutschland in Betracht gezogen werden. Der Aspekt der Rückholbarkeit ist nicht berücksichtigt worden.

Aus der in der Tab. 3 aufgeführten Auswertung der Analoga (S. 29,30) geht hervor, dass es für das Wirtsgestein Steinsalz die wenigsten dokumentierten Beiträge gibt. Die meisten stammen aus Untersuchungen aus dem Kristallingestein.

In der Beschreibung der Ergebnisse dieses Einzelvorhabens wird ausgeführt, dass der Hauptvorteil von Analoga darin liegt, die Auswirkungen von langsamern Langzeitprozessen zu untersuchen, die normalerweise nicht im Labor simuliert werden können. So wird u.a. auf die zentrale Bedeutung verschiedener Szenarien zur Klimaentwicklung für die Einschätzung der langfristigen Sicherheit jeden Endlagers hingewiesen (S. 31).

Im Ergebnis der Reviewer wird deutlich, dass der Bericht hinsichtlich klimatischer Szenarien eher auf skandinavische Verhältnisse abhebt und dass es nur eine geringe Anzahl deutscher Analogstudien für das Wirtsgestein Salz gibt. Es werden weitere Untersuchungen für sinnvoll erachtet (S. 114, 115).

Das BfS kommt in seiner zusammenfassenden Bewertung zu dieser Frage zum Schluss, dass über den grundsätzlichen Ablauf endlagerrelevanter Prozesse genügend Analog-Informationen vorliegen, die jedoch nur unvollständig die im Wirtsgestein Salz relevanten Prozesssysteme und Szenarien umfassen. Weitere Studien sollten erst auf der Basis konzeptioneller Vorgaben und standortspezifischer Sicherheitsanalysen initiiert werden.

Frage 2:

Behandlung von Unsicherheiten, systematische Entwicklung von Szenarien und Rechenverfahren bei der Anwendung probabilistischer Methoden im Langzeitsicherheitsnachweis (Modellrechnungen).

Die Erläuterungsfrage des BfS lautet:

Welche Zustände, Ereignisse und Prozesse zur Beschreibung der Entwicklung des Endlagersystems kommen für deutsche Verhältnisse in Frage?

Bei der Bearbeitung diese Themas wurden drei fachliche Komplexe zur Erkundungsmethodik, Szenarienanalyse und Modellierung bearbeitet (S. 32, 33).

- Vorhandene Untersuchungsmethoden (oder Methodenkombinationen) zur Erkundung von Störungen bzw. lösungsführender Zonen waren zu beschreiben mit dem Ziel, ihre Leistungsfähigkeit bei der Ermittlung geometrischer und hydraulischer Barriereeigenschaften zu beurteilen.
- Es waren auf systematische Weise Szenarien (z.B. Eiszeitszenarien) zu entwickeln, die für die Langzeiteigenschaften der geologischen Barrieren von Bedeutung sind und nach denen langfristig ein Flüssigkeitszutritt an die Abfälle möglich ist.
- Es sollte der Fourier Amplitude Sensivity Test (FAST) zur Berechnung von Parametersensitivitäten mit dem Monte-Carlo-Verfahren im Hinblick auf die Anwendbarkeit in Langzeitsicherheitsanalysen verglichen werden.

Hinsichtlich der Erkundung von Störungen und wasserführenden Zonen (S. 34) wird ausgeführt, dass sicherheitsrelevante Wirtsgesteinsdiskontinuitäten sich nur über die detaillierte untertägige Standorterkundung erkennen lassen.

Bei der Entwicklung sicherheitsrelevanter Szenarien wurde insbesondere für die norddeutschen Verhältnisse ein Eiszeitszenario für die betrachteten Geosysteme entwickelt, da dieses als wahrscheinliches Szenario mit großen Auswirkungen auf das Barrieresystem einzustufen ist und damit die Langzeitsicherheit maßgeblich beeinflussen kann (S. 35).

Bei der Bearbeitung des Eiszeitszenarios wird z.B. für Steinsalz auf die Möglichkeit des Eintretens von Zugspannungen mit eventuell auch steil stehenden Schrumpfrissen und ggfs. im Salinar horizontal gerichteten Zusatzspannungen hingewiesen (S. 35).

Aus der tabellarischen Aufstellung der Szenarienzuordnung für einen Betrachtungszeitraum von 1 Mio. Jahre (Tab. 4; S. 36) geht hervor, dass das Szenario Warmklima bei keinem der Geosysteme als relevant angesehen wird. Beim Szenario Wasserbewirtschaftung werden im Kristallingestein standortspezifische Aspekte als wesentlich erachtet. Bei den anderen Geosystemen wird dieses Szenario ebenfalls als nicht relevant erachtet.

In den Empfehlungen (S. 37) wird die Häufigkeit der Wiederkehr von Kaltzeiten mit rund 100.000 Jahren angegeben. In diesem Zusammenhang wird ausgeführt, dass für potenzielle Endlagerstandorte in Deutschland, die im Randbereich einer großflächigen Eisbedeckung liegen, eine verhältnismäßig geringe Änderung der Eisausbreitung wichtig sein könnte.

Für ein im deutschen Binnenland gelegenes tiefes Endlager mit mehreren hundert Meter Überdeckung wird hingegen die eventuelle Änderung des Meeresspiegels während einer Eiszeit als nicht relevant eingestuft.

Es wird auf die eiszeitbedingten Auswirkungen des Grundwassers infolge Entwässerung, Veränderungen der Redox-Bedingungen und auf unter Umständen sehr ausgeprägte Erosion ebenso hingewiesen wie auf die Möglichkeit einer Ablaugung von größerer Anteilen der Salzstruktur (z.B. Schrumpfrisse im Salz, Fließvorgänge infolge Eisüberdeckung).
Abminderungen dieser Möglichkeiten könnten durch vorhandene, niedrigdurchlässige, erosionsbeständige Schutzschichten des Deckgebirges bzw. durch gipshaltiges Hutgestein erfolgen.

Für die Bewertung der Wirksamkeit solcher Schutzschichten werden sowohl fallspezifische Untersuchungen als auch ein detailliertes Verständnis der für die Erosion bzw. Ablaugung wesentlichen Vorgänge für notwendig erachtet.

Im Ergebnis der Reviews (S. 117, 118) wird betont, dass die Eintrittszeitpunkte von Szenarien eine wesentliche Bedeutung für die Langzeitsicherheitsanalyse haben und dass diese wirtsgesteinsspezifisch zu betrachten sind

In der Bewertung durch das BfS wird ausgeführt, dass die Entwicklung eines Eiszeitszenariums für Standorte, für die im Betrachtungszeitraum der Langzeitsicherheitsanalyse eine hohe Wahrscheinlichkeit für glaziale Einwirkungen auf Teile des Geosystems zu unterstellen ist (z.B. in Norddeutschland), von besonderer Bedeutung ist.

Weiter generische Studien werden als nicht zielführend erachtet.

Frage 3:

Bestimmung des natürlichen Isolationspotenzials und des Nachweiszeitraums verschiedener geologischer Strukturen und Wirtsgesteine für die Endlagerung radioaktiver Abfälle (Isolationspotenzial und Nachweiszeitraum).

Seitens des BfS wird die Frage wie folgt präzisiert:

Welche Isolationspotenziale haben die in Deutschland vorkommenden geologischen Strukturen und potenziellen Wirtsgesteine für die Endlagerung?

Daran anschließend werden drei weitere Unterfragen formuliert:

Wie sind Isolations- und Nachweiszeiträume definiert?

Welche Zahlenwerte sollen für beide Zeiträume festgelegt werden?

Für welche Zeiträume kann ein Langzeitsicherheitsnachweis sinnvoll geführt werden?

Zur sinnvollen Ab- und Eingrenzung bei der Bearbeitung dieses Themenkomplexes wurden u.a. nachstehende Randbedingungen festgelegt (S. 39):

- Es wird von einem notwendigen Isolationszeitraum von einer Mio. Jahre ausgegangen.
- Das geforderte Isolationsvermögen der Geosysteme bezieht sich im wesentlichen auf das radiologische Schutzziel der Endlagerung und den Menschen als Schutzgut. Andere Schutzziele, wie z.B. des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) oder des Bergrechtes, wurden in Einzelvorhaben nur dann berücksichtigt, wenn ein Geosystem hinsichtlich ihrer Einhaltung auffällige Besonderheiten aufweist.
- Es wurde von der zu erwartenden geologischen Entwicklung der betrachteten Geosysteme ausgegangen.
- Technische Maßnahmen zur Erhöhung des Isolationsvermögens wurden nicht berücksichtigt
- Die Folgen künftiger menschlicher Aktivitäten, insbesondere das Eindringen von Menschen in ein Endlager, wurden nicht betrachtet.

Für die Bearbeitung werden die Begriffe Geosystem, Isolationszeitraum, Isolationspotenzial, Nachweiszeitraum analysiert und definiert sowie die das Isolationspotenzial und den Nachweiszeitraum bestimmenden geologischen Faktoren ermittelt.

Die (vergleichende) Beurteilung von Geosystemtypen im Hinblick auf ihre materiellen Eigenschaften mit Bedeutung für das Isolationspotenzial erfolgt mit Hilfe von gewichteten Kriterien (S. 45).

Als Ergebnis bei der Ableitung von Nachweiszeiträumen ist hervorzuheben, dass die Aussagekraft von Prognosen und die Zeiträume entscheidend von den für das jeweilige Geosystem gültigen standortspezifischen Verhältnissen abhängt (S. 48).

Im Hinblick auf das Isolationspotenzial stellten sich bei der Bewertung der sieben in Deutschland für die Endlagerung in Frage kommenden Geo-system-Subtypen die Geosystem-Subtypen Ton-stein und Tonstein plus Wirtsgestein (vollständig umschlossen) als am besten heraus (S. 48). An dritter Stelle rangiert bei diesem Ranking der Geosystem-Subtyp Steinsalz (flache Lagerung). An vierter und fünfter Stelle stehen die Geosystem-Subtypen Steinsalz (Salzkissen) und Steinsalz (Diapir).

Die Geosystem-Subtypen Tonstein plus Wirtsgestein (unvollständig umschlossen) und, außer Konkurrenz, die kristallinen Gesteine schneiden am schlechtesten ab (S. 49). Es wird andererseits von den bearbeitenden Autoren abgeleitet, dass es das ideale Geosystem, dass alle Anforderungen am besten erfüllt und bei allen zugehörigen Kriterien am besten abschneidet, nicht gibt.

Bei der Bewertung der Geosystem-Subtypen wird dabei von dem in Deutschland verfolgten Endlagerkonzept ausgegangen, nach dem die Langzeitsicherheit hauptsächlich auf dem Sicherheitsbeitrag der geologischen Barriere beruht (S. 49).

Beim Vergleich der drei Geosystem-Subtypen Steinsalz weisen die Steinsalzvorkommen in flacher Lagerung gegenüber den Salzstöcken Vorteile hinsichtlich der Eignungsprüfung auf. Flache Lagerstätten kommen in Deutschland vor und können mit geeigneten Verfahren gezielt aufgesucht und erkundet werden.

Bei Salzstöcken, in denen Steinsalz gemeinsam mit Gesteinstypen vorkommt, die im Hinblick auf die sichere Endlagerung ungünstige Eigenschaften aufweisen (Salzton, Anhydrit, Kalisalze)

kann dieser konfigurative Aspekt erst sehr spät im Zuge der Erkundung unter Tage abschließend beurteilt werden (S. 50).

Ein maximal prognostizierbarer Zeitraum in der Größenordnung von ca. 1 Mio. Jahre wird als möglich angesehen. Es gilt allerdings allgemein, dass mit wachsendem Prognosezeitraum die Aussagesicherheit abnimmt (S. 50).
Die Diskussion im Workshop ergab z.T. erhebliche Differenzen zwischen den Autoren der Studie und den Reviews hinsichtlich der Begriffsdefinitionen und der Schlussfolgenrungen über das Isolationspotenzial verschiedener Wirtsgesteine.

Es wird lediglich die Auffassung geteilt, dass kristalline Gesteine unter den in Deutschland gegebenen geologischen Gegebenheiten nicht die Anforderungen des AKEnd erfüllen und daher für die Endlagerung nicht weiter verfolgt werden sollten.

Seitens des BfS wird hervorgehoben, dass es sich im Rahmen der Bearbeitung und des Workshops gezeigt hat, dass die Ableitung von Nachweiszeiträumen für Geosysteme auf der abstrakten Ebene der Geosystemtypen nicht möglich sei und dass daher die Frage nur standortspezifisch beantwortet werden kann (S. 139).

Das BfS kommt ferner zum Schluss, dass hinsichtlich der Bewertung des Isolationspotenzials die Ergebnisse der Untersuchungen und des Workshops zeigen, dass eine zeitliche oder auch relative Angabe (besser, schlechter) auf der abstrakten Ebene von Geosystemen nicht möglich ist, da das Isolationspotenzial zu stark von standortspezifischen Eigenschaften geprägt wird.

Bei der Beantwortung der Unterfrage „wie sind Isolations- und Nachweiszeitraum definiert?“ ist es nach Auffassung des BfS nicht zu einer allgemein akzeptierten Formulierung gekommen.

Bei der Beantwortung der Frage nach Zahlenwerten für Isolations- bzw. Nachweiszeiträume besteht nach dem BfS nur Einvernehmen darüber, dass die radioaktiven Abfälle auch noch nach Zeiträumen, für die an keinem Standort mehr zuverlässige geowissenschaftliche Prognosen abgegeben werden können, eine Gefährdung für Mensch und Umwelt darstellen können.

Das BfS vertritt die Auffassung, dass nur dann, wenn eine ausreichende Sicherheit definiert werden soll, auch regulatorisch festgelegt werden muss, was ein ausreichend langer Einschluss der Schadstoffe im Endlager bzw. ein ausreichender Schutz von Mensch und Umwelt ist.

Auch das BfS ist der Auffassung, dass rein methodisch Nachweiszeiträume bis zu einer Million Jahre möglich sind. Dann müssten jedoch günstige Voraussetzungen vorliegen und Veränderungen im Deckgebirge (Eiszeiten) berücksichtigt werden.

Frage 4:

Sicherheitsindikatoren zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern für radioaktive Abfälle (Sicherheitsindikatoren).

Welche Indikatoren zur Bewertung der Langzeitsicherheit eines Endlagers für alle Arten radioaktiver Abfälle können herangezogen werden?

Die Bearbeiter dieses Fragenkomplexes gehen dabei u.a. von folgenden Randbedingungen aus:

- Bei der Bearbeitung der Fragestellung war die in Deutschland für die Endlagerung festgelegte Prämisse der Priorität von geologischen Barrieren (vor technischen) zu berücksichtigen.
- In Anlehnung an Anforderungen des AKEnd sowie der Sicherheitskriterien wurde von einem notwendigen Isolationszeitraum, d.h. der Zeitraum für den die Schadstoffe im einschlusswirksamen Gebirgsbereich des Endlagers zurückgehalten werden müssen, in der Größenordnung von 1 Mio. Jahre ausgegangen.

Im Ergebnis der Bearbeitung ist festzustellen, dass keiner der untersuchten Indikatoren als vollständiger Sicherheitsindikator betrachtet werden kann. Individualdosis und Individualrisiko werden lediglich als gute Sicherheitsindikatoren eingeschätzt (S.55).

Einige Indikatoren werden als unbrauchbar eingeschätzt, weil sie nur schwierig verständlich vermittelt werden können sowie aus der Schwierigkeit bei der Auswertung der Indikatorwerte.

Die Reviewer kommen zu folgendem Ergebnis (S. 120-122):

Es wird empfohlen, die im Bericht ... zusammengestellten Indikatoren hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit auf das Wirtsgestein Salz zu überprüfen und ggfs. zu ergänzen.

Hinsichtlich der Vermittelbarkeit von Indikatoren als Kriterium für ihre Anwendbarkeit wird festgestellt, dass aus naturwissenschaftlicher Sicht jene Indikatoren verwendet werden müssen, die relevant und notwendig sind und nicht jene, die sich besonders gut kommunizieren lassen. Um die Vermittelbarkeit zu verbessern müssen Formen für ihre Kommunikation gefunden werden.

Nicht abschließend geklärt wurde die Frage nach der Anwendbarkeit von Sicherheitsindikatoren für den Vergleich von spezifischen Standorten. Es wurde diesbezüglich folgende einvernehmliche Aussage getroffen:

Generell sind Sicherheitsindikatoren auch zum Vergleich von Endlagersystemen geeignet, jedoch bedürfen die Ergebnisse einer Bewertung. Ein reiner Vergleich von quantitativen Indikator-Werten ist nicht zulässig. Die Bewertung muss vor allem konzeptionelle, standortspezifische und ggfs. modellspezifische Besonderheiten der zu vergleichenden Endlagersysteme berücksichtigen.

Das BfS kommt zur Auffassung (S. 140), dass sowohl die Individualdosis als auch das Individualrisiko und die Konzentration in den Umweltmedien vollständige Sicherheitsindikatoren sind, wenn für die berechneten Werte eine Unsicherheitsanalyse durchgeführt und ein Vertrauensintervall angegeben wird.

Weitere Indikatoren zur Erhöhung des Vertrauens in die Sicherheitsanalyse sind einzubeziehen. Diese können nur standort- und konzeptspezifisch festgelegt werden

Frage 5:

Geochemische Prozesse bei der Ausbreitung von Schadstoffen aus einem Endlager für radioaktive Abfälle (Geochemische Prozesse).

Bei diesem Fragenkomplex ergibt sich folgende Grundfrage:

Sind die verfügbaren Daten für die geochemische Nah- und Fernmodellierung in den verschiedenen geochemischen Milieus übertragbar auf in Deutschland relevante Verhältnisse; sind sie vollständig und ausreichend genau?

Daran schließt sich, falls nicht alle drei Aspekte positiv beantwortet werden können, die Frage nach den noch zu leistenden Arbeiten an:

Welche Arbeiten müssen zur Vervollständigung der Datenbasis für die geochemische Modellierung und zur Festlegung von Modellierungscodes durchgeführt werden?

Beim methodischen Ansatz und den Randbedingungen ist anzumerken, das die hierbei höchste zu betrachtende Temperatur auf 150°C festgelegt wurde, da höhere Temperaturbereiche nur kurzzeitig im direkten Umfeld von in Steinsalz eingelagerten High-Level-Waste-Abfällen zu erwarten und mit dem derzeit vorliegenden Datensatz schwer bzw. gar nicht abzudecken sind (S. 59).

Im Ergebnis kommen die Sachbearbeiter u.a. zu folgenden Aussagen:

In einer Reihe von Punkten sind die bestehenden Datenbanken unabhängig vom gewählten Wirtsgestein lückenhaft. Dies gilt besonders für:

- Chemisches Verhalten und thermodynamisches Verhalten von Plutonium
- Redoxprozesse in Lösungen bzw. an Oberflächen
- Beiträge der Kolloide zur Gesamtkonzentration (Erhöhung der Löslichkeit)
- Bildung von Sekundärphasen, Solid Solutions, Oberflächenreaktionen (Erniedrigung der Löslichkeit)
- Temperaturabhängigkeit der Gleichgewichtskonstanten
- Kinetische Daten der stattfindenden Reaktionen bezüglich der Auflösung und Bildung fester Phasen und der Sorptionsphänomene

Es wird ausgeführt, dass diese Punkte und die Tatsache, dass es aufgrund geringer Datenmengen oft nicht möglich ist, die jeweiligen Daten statistisch zu bewerten, die Belastbarkeit derzeitiger geochemischer Modellierungen empfindlich eingeschränken (S. 61).

Hinsichtlich der verschiedenen Wirtsgesteine wird angemerkt, das sich das Wirtsgestein Steinsalz am zuverlässigsten geochemisch modellieren lässt.

Bei der Diskussion im Workshop wurde einvernehmlich festgestellt, dass infolge von Lücken, Inkonsistenzen und Datenunsicherheiten eine unterschiedliche Belastbarkeit der Modellrechnungen gegeben ist. Eine zielgerichtete Arbeit zur Verbesserung der thermodynamischen Datenbasis wird als erforderlich angesehen.

Eine Quantifizierung der Genauigkeit geochemischer Daten wird bei einer Verwendung in Sicherheitsnachweisen als erforderlich angesehen.

Das BfS schließt sich im wesentlichen den Aussagen der Autoren an. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die vorhandenen Datensätze definitiv nicht ausreichen, um die geochemischen Verhältnisse in einem Endlager und unterschiedliche Versatzkonzepte mit gleicher Belastbarkeit beschreiben bzw. prognostizieren zu können. Die Arbeiten zu einer thermodynamischen Standarddatenbank mit dem Ziel einer geochemischen Nah- und Fernmodellierung sind nach Auffassung des BfS noch im Bereich der Grundlagenforschung anzusiedeln (S. 141).

Frage 6:

Ermittlung von Art und Menge chemotoxischer Stoffe in allen Arten radioaktiver Abfälle und Bewertung ihrer Freisetzung im Hinblick auf das Schutzziel des Wasserhaushaltsgesetzes (Chemotoxische Stoffe).

Letztlich soll im Rahmen dieses Untersuchungsauftrages die Kernfrage

Ist eine Gefährdung des Grundwassers durch das chemotoxische Inventar eines Endlagers für radioaktive Abfälle zu besorgen?

beantwortet werden.

Hierzu sind die folgenden Unterfragen mit abzuklären:

Welches chemotoxische Inventar organischer und anorganischer Stoffe befindet sich in den Abfällen?

Welches Verdünnungspotenzial ist erforderlich, um die Schutzziele des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) und anderer einschlägiger Vorschriften einzuhalten?

Bei der Beschreibung des methodischen Ansatzes und der einzuhaltenden Randbedingungen (S. 63-64) wurde von den Autoren darauf hingewiesen, dass im WHG zwar das Schutzziel festgelegt ist, es aber kein Regelwerk gibt, das Grenzwerte und Berechnungsvorschriften für den Austrag von chemischen Stoffen aus einem Endlager in das Grundwasser festlegt.

Hilfsweise wurde auf andere bestehende nationale und internationale Regelungen (z.B. Grundwasserverordnung –GWVO-, Trinkwasserverordnung –TVO-, LAWA, WHO) für die Erfassung des zu berücksichtigenden Stoffinventars und die dafür anzusetzenden Grenzkonzentrationen bzw. Prüfwerte zurückgegriffen.

Das Modell zur Berechnung der Konzentrationen im Grundwasser unterstellt, dass die Stoffe im Endlager in einem Lösungsvolumen von 100.000 m^3, 500.000 m^3 oder 1.000.000 m^3 gelöst werden. Anschließend wird unterstellt, dass dieses Lösungsvolumen langsam aus dem Endlager freigesetzt wird und auf dem Weg bis in das oberflächennahe Grundwasser, das zur Trinkwassernutzung genutzt werden kann, eine Verdünnung um den Faktor 500, 5.000 oder 50.000 erfährt.

Ferner werden für die Berechnung der Konzentrationen im Endlager drei unterschiedliche Lösungsansätze angenommen:

1. Die Stoffe im Endlager werden vollständig in reinem Wasser gelöst

2. Es wurde die Löslichkeitsgrenze in reinem Wasser berücksichtigt und angenommen, das nur der einzelne betrachtete Stoff bzw. die chemische Verbindung im Wasser vorliegt.

3. Es wurde das Löslichkeitsverhalten der Stoffe in salinaren Lösungen berücksichtigt.

Die bearbeitenden Autoren zu diesem Themenkomplex kommen im Ergebnis ihrer Untersuchungen u.a. zu folgenden Aussagen (S.65-68):

- Bei einer angenommenen vollständigen Lösung der betrachteten 120 Einzelstoffe haben weniger als die Hälfte das Potenzial einen der zugrundegelegten Grenz- bzw. Prüfwerte zu überschreiten.
- Bei einem Verdünnungsfaktor von 500 werden – unter den Voraussetzungen des zweiten Lösungsansatzes – zahlreiche Überschreitungen der zugrundegelegten Prüfwerte (PW) und Grenzwerte (GW) berechnet.
- Bei einem Verdünnungsfaktor von 5.000 werden nur noch für eine sehr begrenzte Zahl von Stoffen Überschreitungen der PW/GW festgestellt.

Es werden insbesondere die Stoffe Cadmium, Yttrium, Kalium, Lithium, Rubidium und Thallium benannt, bei denen es bei einem Verdünnungsfaktor von 5.000 zu Überschreitungen der PW/GW kommt.

Bei einem Verdünnungsfaktor von 50.000 werden nur noch beim Wirtsgestein Kristallin Über-

schreitungen des PW/GW von Rubidium aus dem Versatzmaterial Bentonit ermittelt.

Im anschließenden Workshop wird in der Arbeitsgruppe z.T. kontrovers diskutiert (S. 123-125).

Keine Einigung konnte darüber erzielt werden, ob insbesondere für heterogen zusammengesetzte radioaktive Abfälle aus Forschungseinrichtungen und Landessammelstellen Bandbreiten für die Mengenangaben erforderlich sind und ob der gewählte Ansatz, die Anwesenheit der restlichen Stoffe im Lösungsvolumen bei der Berechnung der maximalen Konzentration eines chemotoxischen Stoffes zu vernachlässigen, in allen Fällen konservativ ist.

Einigkeit wurde darüber erreicht, dass das Inventar chemotoxischer Stoffe umfassend und ausreichend beschrieben wurden und dass, obwohl die Verwendung der gewählten Grenz- und Prüfwerte nicht unumstritten war, derzeit keine besseren Maßstäbe vorliegen und dass endlagerspezifische Regelungen geschaffen werden sollten.

In der zusammenfassenden Bewertung durch das BfS (S. 141-143) wird ausgeführt, dass

- alle, nach heutigen Randbedingungen zur Endlagerung vorgesehenen radioaktiven Abfälle und deren stoffliche Zusammensetzung (anorganische und organische nicht radioaktive Schadstoffe) für ein zukünftiges Genehmigungsverfahren ausreichend erfasst und beschrieben wurden.
- unter den von den Autoren getroffenen Annahmen mit Ausnahme einiger weniger Stoffe keine Gefährdung des oberflächennahen Grundwassers zu erwarten ist.
- die durchgeführten Untersuchungen für einen Vergleich von Standorten weniger aussagekräftig sind. Sofern der Nachweis der Wirksamkeit des sicheren Einschlusses (einschlusswirksamer Gebirgsbereich) über sehr lange Zeiträume geführt werden kann, wird keine wasserrechtliche Erlaubnis erforderlich sein
- konkrete Aussagen über das Verdünnungspotenzial nur standortspezifisch möglich sind, wenn die geologischen und hydrogeologischern Gegebenheiten in den hierzu durchzuführenden Untersuchungen berücksichtigt werden können.
- für verschiedene Bereiche (z.B. wasserrechtliches Schutzziel, Grenz- bzw. Richtwerte) regulatorische Festlegungen getroffen werden sollten.

Frage 7:

Untersuchung der Gasbildungsmechanismen in einem Endlager für radioaktive Abfälle und der damit verbundenen Auswirkungen auf die Führung des Nachweises der Endlagersicherheit (Gasbildung).

Hierzu ergaben sich nachstehende Unterfragen:

Wie sehen die Gasbildungsmechanismen in einem Endlager aus?

Wie muss der Nachweis zur Beherrschung der Gasbildung nach dem Stand von Wissenschaft und Technik geführt werden – welche Einzelnachweise sind zu erbringen und wie ist hierzu der Stand von Wissenschaft und Technik?

Darf ein Aufreißen des Gebirges durch die Gasbildung zugelassen werden?

Welche Anforderungen ergeben sich aus den Nachweiskonzepten an das Endlagerkonzept (Standortauswahl, Einlagerungskonzept, Abfallbehandlung und –konditionierung)?

Bei der Bearbeitung der o.a. Fragestellungen wurde von folgenden methodischen Ansätzen und Randbedingungen ausgegangen (S. 70 –71):

- Gasspeicherung im Endlager
- Gasspeicherung im Wirtsgestein
- Entweichen von Gasen

Die Gasbildung wurde differenziert nach interner Gasbildung (verursacht durch Wasser in den Abfällen) und nach externer Gasbildung (infolge von Lösungszutritten durch das Wirtsgestein).

Für die Überprüfung der Nachweisziele beschränkten sich die Untersuchungen auf den einschlusswirksamen Gebirgsbereich. Es wurde zugrundegelegt, dass die geologische Barriere und die Schachtverschlüsse die Langzeitsicherheit in erster Linie gewährleisten. Es wird ferner davon ausgegangen, dass aufgrund einer sorgfältigen vorlaufenden Erkundung bei der Anlegung eines Endlagers im Salinar ein Wasserzutritt von ausserhalb und im größeren Umfang auch aus eingeschlossenen salinaren Lösungen innerhalb der Salzformation ausgeschlossen werden kann.

Die Modellberechnungen stützen sich auf das prognostizierte Modellinventar der radioaktiven Abfälle (wärmeentwickelnde Abfälle und Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung).

Bei der Beschreibung der Untersuchungsergebnisse werden die gasbildenden Prozesse (anaerobe Metallkorrosion, mikrobielle Prozesse, Radiolyse) und die gasbindenden Prozesse (z.B. Bindung von Kohlendioxid durch Carbonatisierung von Zement) beschrieben.

Die Autoren kommen bei der geosystemspezifischen Diskussion der die Gasbildung beeinflussenden Parameter zu folgenden Ergebnissen (S. 72 – 73):

- Die Gasbildung in einem Endlager im salinaren Gestein hängt wesentlich vom Wassergehalt der konditionierten Abfälle, des Versatzes und des Wirtsgesteins ab. Unter den genannten Voraussetzungen (kein Wasserzutritt von aussen, kein Lösungszutritt aus der Salzformation selber Anm. d. Verf.) ist das gasbildende Stoffinventar (außer Wasser) nicht wesentlich für die Gasbildung.
- Bei den Geosystemen Tonstein, Kristallin und Sediment unter Tonüberdeckung wird ein Wasserzutritt von außen angenommen, sodass im Modell das Wasserangebot für die Gasbildung nicht limitierend ist. Hier hat die Zusammensetzung der Abfälle einen entscheidenden Einfluss auf die gebildete Gasmenge und die Gasbildungsrate.

Hinsichtlich der Nachweiskonzepte für die Beherrschung der Auswirkung der Gasbildung (S. 73 – 77) werden die Gasspeicherung im Endlager und die Gasspeicherung im Wirtsgestein sowie das Konzept „Entweichen" von Gas betrachtet.

Für die Gasspeicherung im Endlager bzw. im Wirtsgestein (nur relevant im Salinar und im hydraulisch dichten Wirtsgestein – Tonstein -) ist es vorteilhaft, wenn bei der Standortsuche darauf geachtet wird, dass

- das Wasserangebot aus den Abfällen, dem Versatz sowie dem Wirtsgestein möglichst klein ist,
- der Abstand Einlagerungsbereich-Deckgebirge bzw. Mächtigkeit des Wirtsgesteins möglichst groß ist,
- das Porenvolumen und die Grundfläche der Einlagerungsfläche möglichst groß sind,
- die Teufe des Endlagers möglichst groß ist und
- die Konvergenz im Einlagerungsbereich möglichst klein ist.

Für das Konzept Entweichen von Gas sollte beim Standortauswahlverfahren zunächst die Suche nach einer günstigen geologischen Gesamtsituation im Vordergrund stehen, um die langfristig zu erwartenden radiologischen Konsequenzen durch den Transport gelöster radioaktiver Substanzen zu minimieren.

Insgesamt gesehen kommen die Autoren zur Auffassung, dass bei einer Gasspeicherung im Endlager bzw. im Wirtsgestein (Salinar) die günstigen Effekte gegenüber dem Konzept Entweichen von Gas überwiegen. Es wird aber betont, dass ein Wasserzutritt auszuschließen ist. Die Kriterien „große Tiefe des Endlagers" und „geringe Konvergenz" schließen sich gegenseitig aus.

Im Rahmen des Workshops (S. 125, 126) bestand bei den Teilnehmern Einigkeit darüber, dass die wesentlichen Gasbildungsmechanismen benannt worden sind und dass das vorgeschlagene Nachweiskonzept generell für alle geologischen Verhältnisse als durchführbar angesehen wird.

Es wurde im Workshop darauf hingewiesen, dass die Bildung von sekundären Porositäten im Wirtsgestein des Endlagers durch Gasdruck, insbesondere im Salz, noch Gegenstand der Forschung sind. Es sei auch noch nicht abgesichert, wie Makrorisse, die den gesamten einschlusswirksamen Gebirgsbereich durchschlagen, zuverlässig ausgeschlossen werden können.

Aus Zeitmangel konnten die nachstehende Fragen nicht mehr diskutiert werden:

Welche Sicherheitsrelevanz haben nach Verschluss des Endlagers explosionsfähige Gasgemische bei menschlichen Einwirkungen?

Sind alle Maßnahmen zur Optimierung des Einlagerungskonzeptes genannt?

Sind die vorgeschlagenen Maßnahmen zur Behälterauswahl und für die Abfallkonditionierung realisierbar?

Das BfS kommt in seiner zusammenfassenden Bewertung (S. 143, 144) zu den nachstehend aufgeführten weiteren Feststellungen:

- Bei den Gasbildungsmechanismen sollten zusätzlich die galvanische Korrosion und die mikrobiell induzierte Korrosion einbezogen werden.
- Für die Bildung einer sekundären Porosität in dichten Wirtsgesteinen sind noch weitere Nachweise zu erbringen. Dies gilt insbesondere für ein Nachweiskonzept in Salzgestein.

- Für die Beantwortung der Frage „Darf ein Aufreißen des Gebirges durch die Gasbildung zugelassen werden?“ fehlen zurzeit noch die entsprechenden Nachweismethoden. Es wäre nachzuweisen, ob nach Entweichen des Gases eine solche Wegsamkeit wieder geschlossen wird.

Abschließend hebt das BfS unter Bezug auf die RSK (RSK 2005) hervor, dass „die Modellvorstellungen zum Abbau hoher Gasdrücke in Salz durch Entstehung von Mikrorissen und fortschreitende Gesteinsauflockerung für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in Salz erhebliche Bedeutung haben; denn die zur Verringerung hoher Gasdrücke alternativ durchzuführenden Maßnahmen sind mit gravierenden Eingriffen in die geologische Barriere verbunden... .“

Frage 8:

Untersuchungen zur Kritikalitätssicherheit in der Nachbetriebsphase eines Endlagers für ausgediente Brennelemente und radioaktive Abfälle (Kritikalität).

Bei diesem Themenkomplex sollten folgende Unterfragen mit abgehandelt werden:

Unter welchen Randbedingungen sind kritische Spaltstoffansammlungen in einem Endlager ausgeschlossen?

Muss eine Mobilisierung und der Transport von Spaltstoffen sowie eine anschließende Anreicherung zu einer kritischen Masse in der Langzeitsicherheitsanalyse berücksichtigt werden?

Welche Kriterien zur Sicherheitstechnischen Bewertung und zum Vergleich verschiedener Standorte und Wirtsgesteine unter dem Gesichtspunkt der Langzeit-Kritikalitässicherheit können herangezogen werden?

Wie können die Folgen einer Kritikalität im Endlager, insbesondere im Hinblick auf mögliche Auswirkungen auf die Biosphäre, abgeschätzt werden?

Die Autoren beziehen sich für die einzelnen Wirtsgesteine auf Endlagerkonzepte in Frankreich (Bure, Endlagerformation Ton), Schweden (Äspö Hard Rock Laboratory, Endlagerformation Kristallin), Gorleben und Asse (Endlagerformation Salz).

Die der Kritikalitätsanalysen zugrunde liegenden Daten für die endzulagernden Kernbrennstoffe sowie für die Behälterkonzepte werden benannt.

Es werden verschiedene für die Kritikalitätssicherheit relevante Langzeitszenarien unter Berücksichtigung der jeweiligen Gesteinsformation betrachtet (z.B. mechanische Verformung von Abfallgebinden, Leckage von Behältern, Eindringen von Wasser bzw. Lösungen, Vermischen von Kernbrennstoff mit dem umgebenden Wirtsgestein und Wasser bzw. Lösung etc.). Dem AKEnd-Vorschlag (AKEnd 2002) folgend wird ein Betrachtungszeitraum von einer Million Jahre festgelegt (S. 78, 79).

Die Autoren kommen zum Schluss, dass für den unwahrscheinlichen Fall des Auftretens einer Kritikalität in der Nachbetriebsphase eines Endlagers in Deutschland nicht mit einer Beeinträchtigung der Rückhaltebarrieren und einer nennenswerten Freisetzung von dabei neu entstehenden Radionukliden zu rechnen ist. Es kann keine eindeutige Entscheidung zugunsten eines der betrachteten Wirtsgesteine getroffen werden. Salzgestein weist jedoch aufgrund der Absorptionsfähigkeit von Cl-35 leichte Vorteile gegenüber Ton und Kristallingestein auf (S. 86).

Die zusammenfassende Bewertung durch das BfS schließt sich i.W, den Ausführungen der Gutachter und Reviewer an (S 144,145).

Ergänzend dazu werden einige Aspekte näher betrachtet bzw. zusätzlich mit in die Bewertung aufgenommen.

Für Kernbrennstoffe aus ausgedienten Leichtwasserreaktor-Brennelementen kann die langfristige Kritikalitätssicherheit gewährleistet werden. Für Lagerstäbe mit unbestrahltem MOX-Brennstoff bzw. der Endlagerung von abgebrannten Brennelementen aus Forschungsreaktoren mit hochangereichertem Brennstoff sind entweder technische Maßnahmen (Mischbeladung der Endlagerbehälter) erforderlich bzw. es sind Konditionierungsmaßnahmen nötig, um den Anreicherungsgrad des Brennstoffs so zu senken, dass Kritikalität nicht eintreten kann.

Informationslücken bestehen zur Geochemie von Plutonium, sodass Aussagen zur selektiven Sorption von Plutonium als MOX-Brennstoff im Rahmen von standortspezifischen Analysen zu überprüfen sind.

Frage 9:

Untersuchung der menschlichen Einwirkung auf ein Endlager für radioaktive Abfälle und der damit verbundenen Auswirkungen auf die

Führung des Nachweises der Endlagersicherheit (Menschliche Einwirkungen).

Die Unterfragen zu diesem Thema lauten:

Welche Maßnahmen zur Reduzierung der Eintrittswahrscheinlichkeiten bzw. der radiologischen Konsequenz eines menschlichen Eindringens in ein Endlager in tiefen geologischen Formationen können ergriffen werden?

Welche Szenarien, die zu unbeabsichtigten Einwirkungen auf das Endlager durch den Menschen führen, sind bei der Ableitung von Maßnahmen zur Reduzierung der Eintrittswahrscheinlichkeiten bzw. der radiologischen Konsequenzen zu berücksichtigen?

Welche Eintrittswahrscheinlichkeiten haben die zugrunde gelegten Szenarien und welche Auswirkungen resultieren aus ihnen?

Bei der Bearbeitung der Fragen wird zwischen menschlichen Aktivitäten unterschieden, durch die die Wirksamkeit des Barrierensystems oder die Standorteigenschaften verändert werden und solchen, bei denen das Barrieresystem durchdrungen wird, d.h. die einen direkten Eingriff in das Endlager darstellen.

Menschliche Aktivitäten, die zu einer Veränderung der Barrierewirkung führen können (z.B. Veränderung der Grundwassersituation durch den Bau einer Talsperre) und Szenarien, bei denen ein beabsichtigtes Eindringen in ein stillgelegtes Endlager unterstellt wird, werden bei den Untersuchungen nicht betrachtet (S. 87, 88).

Beim methodischen Ansatz und den Randbedingungen wird von sechs generischen Referenz-Geosystemen in vier Wirtsgesteinen mit den spezifizierten Konfigurationen der zugehörigen generischen Referenz-Endlager und einem Referenz-Abfallinventar ausgegangen. Für alle Geosysteme wurde ein einheitliches Deckgebirge angenommen.

Im Ergebnis (S. 90 – 95) werden sechs Referenzszenarien zum menschlichen Eindringen aufgezeigt, von denen fünf alle Geosysteme betreffen (Szenarien 1-5) und eines nur die Geosysteme mit Salz als Wirtsgestein.

Es handelt sich um folgende Szenarien:

1. Bergbau in kontaminiertem Wirtsgestein
2. Bohrung in einen Abfallbehälter
3. Bohrung in das Endlager ohne Abfälle zu treffen
4. Anbohren eines tiefer liegenden Reservoirs mit Überdruck
5. Anbohren eines kontaminierten Grundwasserleiters
6. Abbau von Evaporiten durch Solung

Bei der Wahrscheinlichkeit des unbeabsichtigten menschlichen Eindringens in ein Endlager erweisen sich die Geosysteme Tonstein, Salinar/steile Lagerung und Kristallin als die günstigsten.

Hinsichtlich der radiologischen Konsequenzen ergeben sich Unterschiede, die aus den wärmeentwickelnden Abfällen (WA) und denen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung (VWA) resultieren.

Sofern sich bei den dichteren Wirtsgesteinen Salinar und Tonstein aufgrund des möglichen Gasdruckaufbaus im verschlossenen Endlager ein Bereich mit erhöhter Sekundärporosität und –permeabilität gebildet hat, der die Ausbreitung der Schadstoffe in das Wirtsgestein ermöglicht bzw. begünstigt, wirkt sich dieser Effekt auf die o.a. Szenarien 1-5 aus und führt z.T. zu signifikanten radiologischen Konsequenzen.

Bei den Geosystemen Kristallin und sonstige Gesteine unter Tonüberdeckung ergeben sich für beide Abfallarten (WA und VWA) bei dem Szenario 1 große und beim Szenario 5 sehr große Konsequenzen.

In der Gesamtschau der Untersuchungen schneiden die Geosysteme mit undurchlässigen Wirtsgesteinen (Salinar, Tonstein) geringfügig günstiger ab als die anderen Geosysteme. Bei Berücksichtigung einer Zone mit Sekundärporosität bei den gering permeablen Wirtsgesteinen hebt sich der geringe Vorteil jedoch wieder auf.

Bei der Diskussion im Workshop (S. 128 - 130) wurden von den Reviewern z.T. unterschiedliche Auffassungen hinsichtlich der Arten menschlichen Eindringens ausgeführt.

Es bestand Einigkeit darüber, dass, entgegen der internationalen Auffassung, beabsichtigtes menschliches Eindringen und Terrorismus zukünftig im weiteren Iterationsprozess noch zu diskutieren ist.

Das BfS hält in der zusammenfassenden Bewertung zu diesem Themenkomplex (S. 145, 146) eine regulatorische Festlegung von wirtsgesteinsspezifischen Schlüsselszenarien für sinnvoll und erforderlich.

Die in der Untersuchung genannten sechs Szenarien reichen nach Auffassung des BfS aus, um die Robustheit des Endlagersystems zu überprüfen.

Die Eintrittswahrscheinlichkeit des menschlichen Eindringens kann durch Standortwahl, Endlagerauslegung, Kennzeichnung und Datenarchivierung beeinflusst werden. Dokumentation und Saveguards-Maßnahmen reduzieren die Wahrscheinlichkeit menschlichen Eindringens im Zeitraum einiger Jahrhunderte nach Endlagerverschluss. Eine Markierung des Endlagers wird als längerfristig wirksame Möglichkeit erachtet.

Als Maßnahmen zur Reduzierung der Konsequenzen durch unbeabsichtigtes menschliches Eindringen werden der Schutz durch Bohrhindernisse, die Reduktion des Quellterms und die Reduktion der Expositionszeit als geeignet angesehen (z.B. dickwandige Behälter für Abfälle mit hoher Radiotoxizität, geometrische Annordnung von Abfallgebinden).

Die Existenz von Rohstoffen am Endlagerstandort erhöht die Wahrscheinlichkeit menschlichen Eindringens in den tiefen Untergrund. Ob dadurch die Wahrscheinlichkeit unbeabsichtigter Einwirkungen auf die Sicherheit des Endlagers erhöht wird, ist jedoch nicht eindeutig ableitbar.

Letztendlich kann aus den Untersuchungen nicht gefolgert werden, dass bestimmte Geosysteme als Endlagermedium unter dem Aspekt menschlicher Einwirkungen deutliche Vorteile aufweisen.

Frage 10:

Bedeutung des Mehrbarrierenkonzeptes für ein Endlager für radioaktive Abfälle beim Nachweis der Einhaltung von Schutzzielen (Mehrbarrierenkonzept).

Zu diesem Themenkomplex waren die nachstehenden Unterfragen zu beantworten:

Welche Anforderungen hinsichtlich Unabhängigkeit der verschiedenen Barrieren, Redundanz und Diversität sind an ein Mehrbarrierenkonzept für ein Endlager zu stellen?

Welche Wirkung haben die einzelnen Barrieren des Mehrbarrierensystems eines Endlagers für den Einschluss der radioaktiven Stoffe?

Für welche Zeiträume wirken die verschiedenen Barrieren?

Als Randbedingungen werden von den Autoren folgende Punkte benannt (S. 96 - 98):

- Die Langzeitsicherheit des Endlagers hat Vorrang vor allen anderen Aspekten und ist vorrangig durch die geologischen Barrieren zu gewährleisten.
- Die erforderlichen geologischen Barrieren setzen eine günstige geologische Gesamtsituation (AKEnd 2002) voraus bzw. sind Teil davon.
- Den entscheidenden Beitrag zur langfristigen Isolation der radioaktiven Abfälle muss demnach der einschlusswirksame Gebirgsbereich erbringen.

Die Bewertungsmethodik untergliedert sich in zwei Teile, die in zusammenfassenden Schlussfolgenrungen münden.

Im ersten Teil stützt sich die Bewertung auf die Beschreibung der in Deutschland für die Endlagerung radioaktiver Abfälle grundsätzlich in Frage kommenden Geosystemtypen (Anwendung in der Frühphase für ein Standortauswahlverfahren).

Im zweiten Teil liegt der Bewertung zugrunde, wie das Mehrbarrierenkonzept in verschiedenen Sicherheitsanalysen (unter Einbeziehung der Ergebnisse der Sicherheitsanalysen anderer Länder) entwickelt und angewendet worden ist.

Im Ergebnisteil (S. 99 – 103) wird zunächst dargestellt, dass das Mehrbarrieren-System eines Endlagers in tiefen Formationen

- die technischen Barrieren Abfallprodukt/ Abfallbehälter
- die (geo-)technischen Barrieren Versatz und Dichtungen (einschl. Strecken und Schachtverschlüsse) und
- die geologischen Barrieren

umfasst.

Die den (geo-)technischen Barrieren zugeordneten Strecken- und Schachtverschlüsse stellen keine eigenständigen Barrieren innerhalb des Mehrbarrieren-Systems dar; sie dienen dazu, die durch die Errichtung des Endlagers beeinträchtigte Barrierefunktion des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches bzw. der geologischen Barriere wieder herzustellen.

Die Autoren kommen zu der Auffassung, dass eine Beurteilung von Standorten allein auf Grundlage geosystemtyp-spezifischer Merkmale nicht möglich ist.

Aus der Auswertung von Sicherheitsbewertungen konnte nach Auffassung der Autoren geschlossen werden, dass in allen untersuchten Geosystemen sichere Endlager errichtet werden können. Dabei sind die wichtigsten Faktoren für die Gesamtsicherheit des Endlagers standort- und auslegungsspezifisch und nicht an die generischen Eigenschaften des Wirtsgesteins gebunden. Die Anforderungen an die Auslegung des Endlagers, insbesondere Aufbau und Ausgestaltung der technischen Barrieren (engeneered barrier system –EBS) ergeben sich aus den charakteristischen Eigenschaften eines Geosystems bzw. Wirtsgesteins, als auch aus deren standortspezifischer Ausprägung.

Mit Bezug auf die wichtigsten Prozesse, die die Sicherheit des Endlagers betreffen, kann aus den durchgeführten Bewertungen Folgendes geschlossen werden:

- Sicherheit eines Endlagers im Steinsalz wird in der Hauptsache durch die Abwesenheit von Wasser in Steinsalz, seine sehr geringe Permeabilität, mögliche große Ausdehnung und Homogenität sowie günstige Kriecheigenschaften bestimmt.
  Wegen der Wasserlöslichkeit von Steinsalz ist die Begrenzung der Subrosion und der Ausschluss eines Wasserzutritts zum einschlusswirksamen Gebirgsbereich unerlässlich.
  Das Wirtsgestein Steinsalz stellt unabhängig vom EBS eine ausreichende Barriere nur dann dar, wenn ein Lösungsangriff auf den einschlusswirksamen Gebirgsbereich ausgeschlossen werden kann. Anderenfalls ist zusätzlich eine weitere Barriere notwendig, die einen ausreichenden Schutz gegen Lösungsangriff und die Begrenzung der Ausbreitung von Radionukliden gewährleisten muss.
- Bei tonigen Gesteinsformationen beruht die Sicherheit eines Endlagers im Wesentlichen auf der geringen Wasserdurchlässigkeit und dem hohen Sorptionsvermögen von Tonstein - bei Tonstein mit Trennfugen oder Rissen im Zusammenhang mit Matrixdiffusion - eine hohe Rückhaltekapazität verleihen. Aufgrund des Verformungsverhaltens von Tonstein können offene Trennfugen und Risse wieder geschlossen werden.
- Bei kristallinen Wirtsgesteinen hängt die Sicherheit von Endlagern mehr von einem in geeigneter Weise ausgelegten EBS ab als bei Steinsalz oder Tonstein, da ihre Wasserführung normalerweise stärker ist. Kristallingesteine können aber aufgrund von Matrixdiffusion und Sorption durchaus deutliches Rückhaltevermögen aufweisen. Durch ihre hohe Festigkeit gewährleisten Kristallingesteine darüber hinaus einen guten Schutz des EBS vor mechanischen Beanspruchungen.
- Die Sicherheit von Endlagern in sonstigen Wirtsgesteinen unter Tonüberdeckung beruht in starkem Maße auf der Begrenzung des Grundwasserflusses durch die hydraulischen Eigenschaften der überlagernden Tonsteine und den globalen hydrogeologischen Verhältnissen in den Nebengesteinen. Zusätzliche Rückhaltekapazität ergibt sich aus dem Sorptionsvermögen von Wirtsgestein und tonigen Deckschichten.

Die Autoren sind der Auffassung, dass, im Rahmen von Sicherheitsnachweisen die geologischen und technischen Barrieren eines Endlagers als integriertes System bewertet werden müssen und Wechselwirkungen zwischen Abfall und Wirtsgestein zu berücksichtigen sind.

Bei der Diskussion der Ergebnisse im Workshop wurde in einigen Punkten keine einheitliche Auffassung der Arbeitsgruppe erzielt, so z.B. bei der Beschreibung der Aufgaben der Barrieren (Schutz anderer Barrieren, räumliche und zeitliche Dispersion bzw. Verdünnung) sowie bei der Gewichtung von außergewöhnlichen Entwicklungen.

Im Hinblick auf die Frage, ob die Notwendigkeit des Schutzes des Salzkörpers bei einem Endlager im Salz besteht, wurde u.a. folgendes erarbeitet:

- Der einschlusswirksame Gebirgsbereich muss entsprechend der Definition des AKEnd nicht das gesamte Wirtsgestein umfassen. Die darüber hinaus vorhandenen Barrieren auch des Wirtsgesteins bieten zusätzlichen Schutz des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches und werden positiv bewertet.
- Eine Sicherheitsbewertung ist nur über eine standortspezifische Sicherheitsanalyse möglich.

In der zusammenfassenden Bewertung des BfS (S. 146 ,147) wird u.a. ausgeführt, dass

- das Barrieresystem Eigenschaften haben muss, die den Zutritt von Wässern begrenzen und den langsamen Transport eventuell freigesetzter Schadstoff gewährleisten. Außerdem müssen Einflüsse, die durch Temperaturänderungen und Gasbildung entstehen, beherrscht werden.

- in der frühen Phase technische und geotechnische Barrieren die wesentlichen Elemente des Mehrbarrierensystems sein können, wohingegen in der späteren Phase der Entwicklung eines Endlagersystems die Beständigkeit der geologischen Barriere von besonderer Bedeutung ist.
- die Wahrscheinlichkeit, dass eine wichtige Barriere ihre Wirksamkeit verliert, muss sehr gering sein.

Frage 11:

Untersuchung der Möglichkeiten und der sicherheitstechnischen Konsequenzen einer Option zur Rückholung eingelagerter Abfälle aus einem Endlager (Rückholbarkeit).

Zu diesem Themenkomplex ergaben sich nachstehende Unterfragen:

Welche technischen Möglichkeiten gibt es, die Rückholbarkeit der radioaktiven Abfälle aus einem Endlager zu gewährleisten?

Welche Konsequenzen – insbesondere sicherheitstechnische Vor- und Nachteile – hat die Gewährleistung der Rückholbarkeit?

Welche planerischen Vorgaben sollen für die Rückholbarkeit gesetzt werden?

Im Rahmen der Themenbearbeitung wurde durch eine zielgerichtete Literaturrecherche ermittelt, für welche Arten radioaktiver Abfälle gesetzliche Regelungen bzw. Anforderungen und Empfehlungen bezüglich einer Rückholbarkeit bestehen und welche Begründungen für eine solche Option gegeben werden (S. 104 – 110).

Die Analyse der Literaturstudien hat zu diesem Themenkomplex gezeigt, dass

- bis heute keine internationalen Empfehlungen bzw. Regelungen bezüglich der Berücksichtigung einer Rückholbarkeit in den Endlagerkonzepten bestehen. Nur in einer begrenzten Anzahl von Ländern bestehen gesetzliche Regelungen, ohne dass bestimmte Einzelheiten wie z.B. Zeitrahmen festgelegt sind.
- übereinstimmend die Auffassung vertreten wird, dass eine im Endlagerkonzept berücksichtigte Rückholbarkeit nicht zu einer Beeinträchtigung der Sicherheit des Endlagers führen darf.

Es wird festgestellt, dass keine größeren Unterschiede zwischen dem Ein-Endlager-Konzept oder zwei getrennten Endlagern für wärmeentwickelnde und vernachlässigbar wärmeentwickelnden Abfällen bestehen und dass die wesentlichen Maßnahmen zur Berücksichtigung einer Rückholbarkeitsoption für Tonstein, Kristallin und sonstige Gesteine unter Tonabdeckung die gleichen sind wie bei einem Endlager mit Rückholbarkeitsoption in Salz.

Hauptpunkte bei der Diskussion im Workshop (S. 133, 134) waren die Begründung für die Rückholbarkeit und der Zeitraum, für den eine Rückholung gewährleistet werden soll.

Es wurde festgestellt, dass zwischen Rückholbarkeit und Langzeitsicherheit ein Zielkonflikt besteht.

Die Rückholung zum Ressourcengewinn wird als plausibel angesehen, während die Rückholung aus Sicherheitsgründen in Frage gestellt wird, da diese eine dauerhafte Überwachung des Endlagers voraussetzt.

Es bleibt offen, ob die Option der Rückholung ohne erheblichen Mehraufwand und ohne Verlust an Sicherheit möglich ist.

Es wird für fraglich erachtet, ob die im Bericht postulierte Übertragbarkeit des Rückholbarkeitskonzeptes von Salz auf andere Wirtsgesteine gegeben ist.

In der zusammenfassenden Bewertung des BfS (S. 147, 148) wird ausgeführt, dass aus den Untersuchungen abzuleiten ist, dass für alle Geosysteme technische Konzepte mit unterschiedlichem Aufwand realisierbar sind, wobei der Aufwand zusätzlich vom Zeitpunkt der Rückholung abhängig ist.

Wenngleich die Übertragung des Rückholbarkeitskonzeptes von Salz auf andere Geosysteme fraglich ist und einer Überprüfung bedarf, wird der ökonomische Aufwand für ein Endlager im Ton als am höchsten eingestuft. Ein Endlager im Salz schneidet unter diesem Gesichtpunkt am besten ab.

Aus sicherheitstechnischer Sicht kann eine Rückholbarkeitsoption nicht empfohlen werden.

Die Informationen über die Geometrie des Grubengebäudes, die Lokationen und Inventare der eingelagerten Abfälle müssen erhalten bleiben. Zumindest die hochradioaktiven Abfälle müssen noch in einem Zustand sein, der eine sichere Handhabung für den regulatorisch festzulegenden Zeitraum erlaubt.

Frage 12:

Internationale Kernmaterialüberwachung (Saveguards) bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle in relevanten geologischen Formationen in Deutschland.

Für ein Endlager im Steinsalz existiert in der Bundesrepublik ein Referenzkonzept. Bei einer Endlagerung in einem anderen Wirtsgestein bzw. bei der Berücksichtigung einer Rückholbarkeitsoption ergeben sich nachstehende Zusatzfragen:

Ist das für das Wirtsgestein Steinsalz entwickelte Saveguards-Referenzkonzept auch uneingeschränkt für ein Endlager in anderen potenziellen Wirtsgesteinen einsetzbar?

Wie sieht das Saveguards-Referenzkonzept für eine rückholbare Einlagerung aus?

In den Ausführungen hierzu (S. 112, 113) wird das Referenz-Endlagerkonzept für die direkte Endlagerung ausgedienter Kernbrennstoffe in einem Salzstock mit sofortiger Verfüllung der Einlagerungsräume beschrieben.

Das Saveguards-Referenzkonzept sieht Behälterkontrollen in den Tagesanlagen, Strahlungsdetektoren an den beiden Schächten sowie wiederholte Überprüfungen der grundlegenden technischen Merkmale der Tagesanlagen als auch des Grubengebäudes vor.

Infolge der hohen Konvergenzrate von Salz, die bei der Einlagerung von wärmeentwickelnden Abfällen noch vergrößert wird, werden die Abfallgebinde bald so stark von Wirtsgestein eingeschlossen, dass sie unzugänglich sind und nur unter großem bergbaulichem Aufwand wieder gewinnbar wären. Durch die Unzugänglichkeit der Gebinde kann sich der Überwachungsaufwand auf die Überprüfung des Grubengebäudes beschränken.

Im Falle einer rückholbaren Lagerung sind für den Zeitraum der Rückholbarkeit Saveguards-Maßnahmen mit erheblichem personellen und instrumentellem Aufwand erforderlich.

Das deutsche Saveguards-Referenzkonzept ist grundsätzlich auch auf Ton/Tonstein, Kristallin und sonstige Gesteine unter Tonabdeckung als potenzielle Wirtsgesteine übertragbar.

Solange keine Festlegung auf das endgültige Wirtsgestein, den endgültigen Standort sowie endgültige zur Anwendung gelangende Endlagerkonzept (z.B. Rückholbarkeit, Nichtrückholbarkeit, Eigenschaften des Deckgebirges) erfolgt ist, kann kein Saveguards-Konzeptvorschlag unterbreitet werden. Auch ein Vergleich von Konzepten für verschiedene Wirtsgesteine ist ohne diese Voraussetzungen nicht durchführbar.

Grundsätzlich ist jedoch der Überwachungsaufwand bei einer rückholbaren Endlagerung von aufgedienten Brennstoffen größer als deren Endlagerung mit sofortiger Verfüllung der Einlagerungsräume.

Im Workshop wurde die Auffassung geteilt (S. 133,135), dass sich die möglichen Saveguards-Konzepte an jedes Endlagerkonzept anpassen lassen, dass jedoch das Endlagerkonzept und ein eventuell zu berücksichtigendes Konzept zur Rückholbarkeit den notwendigen Aufwand bestimmen. Eine getrennte Lagerung von spaltbarem und nichtspaltbarem Material in einem Endlager vereinfacht die Saveguards-Aufgabe.

Das BfS schließt sich dem Ergebnis des Workshops an (S. 148, 149).

3. Zusammenfassende Schlussfolgerung des BfS

Die Untersuchungen ergaben, dass keine wesentlichen Wissenslücken auf generischer Ebene identifiziert werden konnten. Die identifizierten Fragen sind entweder regulatorisch zu klären oder werden als nicht so relevant angesehen, als dass sie vor weiteren Entscheidungen über die Vorgehensweise bei der Endlagerung grundlegend zu klären sind.

Es können nach Auffassung des BfS vier Kernaussagen getroffen werden:

1. Keine eindeutigen Vorteile eines Wirtsgesteins aufgrund generischer Betrachtungen.
2. Vorteile von Wirtsgesteinen sind nur im Vergleich von Standorten zu ermitteln.
3. Es besteht Regelungsbedarf
4. Forschungs- und Entwicklungsbedarf ergibt sich aus standortspezifischen Sicherheitsanalysen.

4. Anmerkungen zu den sogen. Zweifelsfragen aus Sicht des Verfassers unter Berücksichtigung gorlebenspezifischer Aspekte und den Mindestanforderungen des AKEnd

zu Frage 1:

Auswertung von natürlichen und anthropogenen Analoga und Ihre Bewertung als vertrauensbildendes Element bei Sicherheitsbewertungen für Anlage zur Endlagerung radioaktiver Abfälle (Naturbeobachtungen).

Welche Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung natürlicher und /oder antropogener Analoga für die Sicherheitsanalyse und Sicherheitsbewertung eines Endlagers sind gegeben?

Bei der Beantwortung dieser Frage (z.B. in der Tab. 3, S. 30) wird weder für die Wirtsgesteine Ton-/Tongestein, Steinsalz bzw. sonstige Gesteine unter Tonbedeckung bei der Systemkomponente „Einflüsse einer Glaziation" dem Unterpunkt Permafrost in der ausgewerteten Literatur eine relevante Prozessbedeutung in den o.a. Endlagersystemen beigemessen.

Es ist jedoch bereits durch die *BGR (1995)* auf die Tatsache hingewiesen worden, dass das Aufreißen von klaffenden Brüchen im höheren Teil von Salzkörpern als Folge der Einwirkung des Permafrostes und ihre spätere Verfüllung mit pleistozänem Lockermaterial nachgewiesen worden ist *BAUER (1992)* und dass man davon ausgehen kann, dass Salzstock-Dachlagen bis in eine Tiefe von 400 m unter der Quartärbasis solchen Permafrost-Beanspruchungen ausgesetzt sein könnten.

Der Aussage, dass „im allgemeinen die Ergebnisse der Untersuchungen darauf hinweisen, dass die geologischen und geochemischen Systeme gegen schädliche Auswirkungen von Inlandvereisungen verhältnismäßig wiederstandsfähig und stabil seien (S. 31)", kann zumindest für Salzgesteine nicht zugestimmt werden, zumal sich die meisten zur Verfügung stehenden Informationen auf die Auswirkungen von Inlandsvereisungen auf kristalline Wirtgesteine beziehen.

Die bis über 300 m eingetiefte Gorlebener Rinne und die bis ca. 170 m unter den Salzspiegel reichende Einlagerung von Deckgebirgseinlagerungen im Salzgestein (*Bornemann et al. 2008)* stehen im Gegensatz zu dieser Aussage.

Angesichts der aktuellen Diskussionen zur Klimaerwärmung ist es unverständlich, dass kein diesbezügliches Szenario einbezogen wird (Erhöhung der Grundwassertemperaturen, Veränderungen des Lösungsinhaltes, Redox-Bedingungen etc.).

zu Frage 2:

Behandlung von Unsicherheiten, systematische Entwicklung von Szenarien und Rechenverfahren bei der Anwendung probabilistischer Methoden im Langzeitsicherheitsnachweis (Modellrechnungen).

Welche Zustände, Ereignisse und Prozesse zur Beschreibung der Entwicklung des Endlagersystems kommen für deutsche Verhältnisse infrage?

Die Aussagen zur Erkundung von Störungen und wasserführenden Zonen beziehen sich ausschließlich auf das Wirtsgestein selbst (S. 33). Angaben zur Erkundung von Störungen im Deckgebirge (z. B. Scheitelgraben Salzstock Gorleben-Rambow) werden nicht getroffen.

Hinweise auf veränderte Grundwasserverhältnisse im Deckgebirge vor, während und nach einer Eiszeit bzw. infolge der aktuell prognostizierten Klimaerwärmung sind nicht enthalten.

In den Empfehlungen wird die Häufigkeit der Wiederkehr von Kaltzeiten mit ca. 100.000 Jahren angegeben, d.h. im Betrachtungszeitraum für eine Sicherheitsanalyse (1 Mio.Jahre) könnten ggfs. bis zu zehn Kaltzeiten mit allen dabei auftretenden Erscheinungen, Prozessen und Entwicklungen (Permafrost, Eisauflast, Meeresspiegelabsenkung etc.) auftreten. In den letzten ca. 450.00 Jahren, also knapp der Hälfte des zu betrachtenden Sicherheitszeitraumes, war Norddeutschland immerhin mindestens 4-mal vom Eis bedeckt.

Angesichts einer angestrebten Begrenzung der Klimaerwärmung auf 2°C in den kommenden Jahrzehnten (G8-Gipfel 2009, L`Aquila, Italien), ist zu erwarten, dass sich insbesondere die hydrodynamischen Verhältnisse im Deckgebirge (Meeresspiegelanstieg, Erwärmung des Grundwassers, erhöhte Niederschlagsmengen) und die sich im Zusammenhang mit der Einlagerung von wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen verändernden rheologischen Eigenschaften von Steinsalz verstärken werden (*Chemia, Z., Schmelin, H., Koyi, H. 2009)*. Dieses Szenario darf nicht außer acht gelassen werden.

zu Frage 3:

Bestimmung des natürlichen Isolationspotenzials und des Nachweiszeitraums verschiedener geologischer Strukturen und Wirtsgesteine für die Endlagerung radioaktiver Abfälle (Isolationspotenzial und Nachweiszeitraum).

Welche Isolationspotenziale haben die in Deutschland vorkommenden geologischen Strukturen und potenziellen Wirtsgesteine für die Endlagerung?

Wie sind Isolations- und Nachweiszeiträume definiert?
Welche Zahlenwerte sollen für beide Zeiträume festgelegt werden?
Für welche Zeiträume kann ein Langzeitsicherheitsnachweis sinnvoll geführt werden?

Bei der Diskussion dieses Themenkomplexes ergaben sich z.T. beträchtliche Differenzen zwischen den Autoren der Studie und den Reviews bzw. dem BfS. Eine abschließende Klärung der Differenzen steht noch aus.

Seitens der Autoren werden die Geosystem-Subtypen Tonstein und Tonstein plus Wirtsgestein (vollständig umschlossen) hinsichtlich des Isolationspotenzials als am besten geeignet hervorgehoben. Der Geosystemtyp Steinsalz (Diapir) wird bei diesem Ranking erst an fünfter Stelle platziert.

Das BfS ist hingegen der Auffassung, dass die Bewertung der Ergebnisse zum Isolationspotenzial zeigen, dass eine zeitliche oder auch relative Angabe (besser, schlechter) auf der abstrakten Ebene von Geosystemen nicht möglich ist, da das Isolationspotenzial zu stark von standortspezifischen Eigenschaften geprägt wird.

zu Frage 5:

Geochemische Prozesse bei der Ausbreitung von Schadstoffen aus einem Endlager für radioaktive Abfälle (geochemische Prozesse).

Sind die verfügbaren Daten für die geochemische Nah- und Fernmodellierung in den verschiedenen geochemischen Milieus übertragbar auf in Deutschland relevante Verhältnisse? Sind sie vollständig und ausreichend genau?

Welche Arbeiten müssen zur Vervollständigung der Datenbasis für die geochemische Modellierung und zur Festlegung von Modellierungscodes durchgeführt werden?

Hinsichtlich dieses Themenkomplexes bestand Einvernehmen zwischen den Akteuren, dass die bestehenden Datenbanken lückenhaft sind und somit die Belastbarkeit geochemischer Modelle und Aussagen zu Sorptions- und Transportvorgängen und zur Löslichkeit stark eingeschränkt sind. Das BfS siedelt die Arbeiten zur Verbesserung der thermodynamischen Standarddatenbank im Bereich der Grundlagenforschung an. Es stellt sich hier die Frage, ob und wie weit diese Forschung weiterbetrieben wird bzw. nach dem Stand der aktuellen Forschung.

Bei einer Weiterentwicklung der Modelle sollten die Datensätze - insbesondere für das Wirtsgestein Steinsalz - dahingehend erweitert werden, dass Temperaturen von bis zu 200 °C mit berücksichtigt werden.

zu Frage 6:

Ermittlung von Art und Menge chemotoxischer Stoffe in allen Arten radioaktiver Abfälle und Bewertung ihrer Freisetzung im Hinblick auf das Schutzziel des Wasserhaushaltsgesetzes (Chemotoxische Stoffe).

Ist eine Gefährdung des Grundwassers durch das chemotoxische Inventar eines Endlagers für radioaktive Abfälle zu besorgen?

Welches chemotoxische Inventar organischer und anorganischer Stoffe befindet sich in den Abfällen?

Welches Verdünnungspotenzial ist erforderlich, um die Schutzziele des Wasserhaushaltsgesetzes und anderer einschlägiger Vorschriften einzuhalten?

Zu diesem Themenkomplex konnte zwischen den Autoren, den Reviews und der BfS nicht in allen Teilen Einigkeit erzielt werden.

Die Entscheidung, ob eine wasserrechtliche Erlaubnis erforderlich ist, wurde mittlerweile durch den BMU getroffen (BMU 2009, S. 7). Danach sind die Nachweise nach den wasser- und bodenschutzrechtlichen Bestimmungen zu führen. Dies kann letztlich nur standortbezogen entschieden werden. In diesem Zusammenhang müssen die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse minutiös geklärt sein und alle für einen Schadstofftransport relevanten Wegsamkeiten (Störungen im Wirtsgestein und Deckgebirge sowie alle verschiedenen Grundwasserleiter, (auch geringmächtige) einer Betrachtung unterzogen werden.

Eine pauschale Zusammenfassung von stratigrafisch genetisch und petrografisch unterschiedlichen Schichten in obere und untere Grundwasserleiter, wie in den jüngsten Beschreibungen zum Standort Gorleben vorgenommen (*Klinge et al. (2007),* ist für eine solche Entscheidung nicht tauglich. Insbesondere müssen bevorzugte Wegsamkeiten erkannt und beschrieben werden. Hier sollten gleiche Qualitätsanforderungen gestellt werden wie bei der Untersuchung und Sanierung von Altlasten (vergl. Bundes-Bodenschutz-Gesetz und –Verordnung).

zu Frage 7:

Untersuchung der Gasbildungsmechanismen in einem Endlager für radioaktive Abfälle und der damit verbundenen Auswirkungen auf die Führung des Nachweises der Endlagersicherheit (Gasbildung).

Wie sehen die Gasbildungsmechanismen in einem Endlager aus?

Wie muss der Nachweis zur Beherrschung der Gasbildung nach dem Stand von Wissenschaft und Technik geführt werden – welche Einzelnachweise sind zu erbringen, und wie ist hierzu der Stand von Wissenschaft und Technik?

Darf ein Aufreißen des Gebirges durch die Gasbildung zugelassen werden?

Welche Anforderungen ergeben sich aus den Nachweiskonzepten an das Endlagerkonzept (Standortauswahl, Einlagerungskonzept, Abfallbehandlung und –konditionierung)?

Zu diesem Themenkomplex gibt es eine Reihe von offenen Fragen, die teils auf noch fehlenden Nachweismethoden beruhen (z.B. sekundäre Porositäten, Aufreißen des Gebirges durch Gasbildung) teils aus Zeitmangel im Workshop nicht ausdiskutiert werden konnten .

Anzumerken ist in diesem Zusammenhang, dass sich die Ausführungen der Autoren zu den Nachweiszielen auf Untersuchungen des einschlusswirksamen Gebirgsbereich beschränken und dass Wasserzutritte von außerhalb bzw. aus im Wirtsgestein eingeschlossenen salinaren Lösungen ausgeschlossen werden.

Hinsichtlich der Wasserzutritte von innerhalb des Wirtsgesteins wird für den Standort Gorleben auf beobachtete Lösungszutritte in der Größenordnung von bis zu mehreren hundert Kubikmetern hingewiesen. Infolge der bei einer Einlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle u.U. einsetzenden Mobilisierung der Lösungsvorkommen im Wirtsgestein, sind Zutritte in der einschlusswirksamen Gebirgsbereich nicht per se auszuschließen.

Bezüglich der Wasserzutritte von außen sind die großflächigen Kontakte grundwasserführender und gut durchlässiger Schichten in der Gorlebener Rinne mit dem Salzgestein (*Duphorn 1983)*, die stark gestörten Tertiärablagerungen im Bereich der altquartären Subrosionssenke sowie die nachgewiesenen holozänen Ablaugungswässer innerhalb des Hutgesteins und somit unmittelbar über dem Salzspiegel *(Klinge et al. 2007)* als bedenklich einzustufen.

Die bis ca. 170 m unter den Salzspiegel angetroffenen Deckgebirgseinlagerungen im Bereich eines durch vorauseilende Subrosion angegriffenen, steilstehenden Ausbisses des Kaliflözes Staßfurt (*Bornemann 2008)* wurden bislang nur in wenigen, eng stehenden Bohrungen im Bereich der Gorlebener Rinne erkundet. Eine systematische flächenhafte Erkundung dieser Schwachzone ist nicht erfolgt. Es kann grundsätzlich nicht ausgeschlossen werden, dass vergleichbare und ggfs. sogar noch tiefer reichende Verletzungen des Wirtsgesteins im Salzstock Gorleben vorkommen.

Gleiches gilt für die Existenz von klaffenden, ggfs. bis 400 bis 600 m unter den Salzspiegel reichenden Brüchen und deren spätere Verfüllung mit pleistozänem Lockermaterial als Folge von Einwirkungen des Permafrostes während der vergangenen Eiszeiten (*BGR 1995; Bauer 1991)*.

Sofern infolge einer Gasbildung im einschlusswirksamen Gebirgsbereich Zonen erhöhter se-kundärer Permeabilitäten und Porositäten (z.B. Entstehung von makroskopischen Rissen infolge überhöhten Gasdruckes) gebildet werden, nähern sich diese den o.a. aufgeführten, von oben nach unten gerichteten Schwächezonen von unten an. Die außerhalb des einschlusswirksamen Gebirgsbereich anstehende sogenannte geologische Barriere des Wirtsgesteins wäre damit weitgehend wenn nicht sogar vollständig außer Kraft gesetzt.

zu Frage 9:

Untersuchung der menschlichen Einwirkung auf ein Endlager für radioaktive Abfälle und der damit verbundenen Auswirkungen auf die Führung des Nachweises der Endlagersicherheit (Menschliche Einwirkungen).

Welche Maßnahmen zur Reduzierung der Eintrittswahrscheinlichkeiten bzw. der radiologischen Konsequenz eines menschlichen Eindringens in ein Endlager in tiefen geologischen Formationen können ergriffen werden?

Welche Szenarien, die zu unbeabsichtigten Einwirkungen auf das Endlager durch den Menschen führen, sind bei der Ableitung von Maßnahmen zur Reduzierung der Eintrittswahrscheinlichkeiten bzw. der radiologischen Konsequenzen zu berücksichtigen?

Welche Eintrittswahrscheinlichkeiten haben die zugrunde gelegten Szenarien und welche Auswirkungen resultieren aus ihnen?

Hinsichtlich dieses Themenkomplexes ist für den Standort Gorleben auf die aktuelle Nutzung von Grundwasser durch das Wasserwerk Höhbeck hinzuweisen. Auch eine zukünftige Nutzung der süßwasserführenden weichsel- und saalezeitlichen Grundwasserleiter, die z.T. in direktem Kontakt mit den bis zum Salzspiegel reichenden tieferen, meist versalzenen Wasserleitern aus der Elsterkaltzeit stehen, darf angesichts der knapper werdenden Ressource Trinkwasser nicht außer acht gelassen werden.

In diesem Zusammenhang muss auch auf die bereits außerhalb des über- und untertägigen Erkundungsprogramms erfolgten menschlichen Eingriffe in das Wirtsgestein, die alten über 1000 m tiefen Tiefbohrungen im Bereich des Höhbeck, hingewiesen werden. Bei diesen Bohrungen handelt es sich um Aktivitäten von bis zu vier Bergbau- bzw. Bohrgesellschaften (z.B. Gorleben, Nordenhall) die um die Jahrhundertwende 1800/1900 tätig waren und sich nach der Kalikrise 1907 als Teil eines großangelegten Anlegerbetrugs (analog zur aktuellen Finanzkrise) offenbarten *(mdl. Mittlg. U. Reiff 2009)*. Bei diesen Bohrungen ist nicht im Detail bekannt, ob und in welcher Form eine ordnungsgemäße Verfüllung der Bohrlöcher, die einen Zutritt von Wasser in das Wirtsgestein wirksam verhindert, erfolgt ist.

zu Frage 10:

Bedeutung des Mehrbarrierenkonzeptes für ein Endlager für radioaktive Abfälle beim Nachweis der Einhaltung von Schutzzielen (Mehrbarrierenkonzept).

Welche Anforderungen hinsichtlich Unabhängigkeit der verschiedenen Barrieren, Redundanz und Diversität sind an ein Mehrbarrierenkonzept für ein Endlager zu stellen?

Welche Wirkung haben die einzelnen Barrieren des Mehrbarrierensystems eines Endlagers für den Einschluss der radioaktiven Stoffe?

Für welche Zeiträume wirken die verschiedenen Barrieren?

Im Hinblick auf den Standort Gorleben sind die von den bearbeitenden Autoren dieses Themenkomplexes für die Sicherheit eines Endlagers im Steinsalz gezogenen Schlussfolgerungen von besonderer Bedeutung.

So wird wegen der Löslichkeit von Steinsalz die Begrenzung der Subrosion und der Ausschluss eines Wasserzutrittes zum einschlusswirksamen Gebirgsbereich hervorgehoben und betont, dass das Wirtsgestein Steinsalz unabhängig von technischen Barrieren (EBS) eine ausreichende Barriere nur dann darstellt, wenn ein Lösungsangriff auf den einschlusswirksamen Gebirgsbereich ausgeschlossen werden kann. Anderenfalls ist eine weitere Barriere notwendig, die einen ausreichenden Schutz gegen Lösungsangriff und die Begrenzung der Ausbreitung von Radionukliden gewährleisten muss.

Wie bereits bei den Anmerkungen zu den Fragen 7 und 9 ausgeführt, können beim Salzstock Gorleben Wasserzutritte von außen zum einschlusswirksamen Gebirgsbereich beim jetzigen Kenntnisstand nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden. Die Zutritte würden dann durch das Wirtsgestein hindurch erfolgen, so dass dieses keine ausreichende Barriere mehr darstellt. Dem Deckgebirge über dem Salzstock Gorleben kann eine Barrierenwirkung wegen der bekannten Erscheinungen (Gorlebener Rinne, Subrosionssenke, Scheitelgraben etc.) nicht zugesprochen werden.

zu Frage 11:

Untersuchung der Möglichkeiten und der sicherheitstechnischen Konsequenzen einer Option zur Rückholung eingelagerter Abfälle aus einem Endlager (Rückholbarkeit).

Welche technischen Möglichkeiten gibt es, die Rückholbarkeit der radioaktiven Abfälle aus einem Endlager zu gewährleisten?

Welche Konsequenzen – insbesondere sicherheitstechnische Vor- und Nachteile – hat die Gewährleistung der Rückholbarkeit?

Welche planerischen Vorgaben sollen für die Rückholbarkeit gesetzt werden?

Die Option einer rückholbaren Endlagerung wird einerseits aus sicherheitstechnischen Gründen abgelehnt, sie wird aber zum Ressourcengewinn (z.B. Grundwasser- oder Salzgewinnung) als plausibel angesehen. In der sehr hypothetisch geführten Diskussion wird jedoch nicht darauf eingegangen, was mit den zurückgeholten radioaktiven Abfällen geschieht. Diese können – sofern zu einem späteren Zeitpunkt technisch möglich - nur aufbereitet und verwertet werden oder sie müssen erneut (wo??) endgelagert werden.

Die aktuellen Ereignisse in der Asse II zeigen jedoch, dass eine klare Antwort auf diese Frage dringend geboten ist.

5. Schlussbetrachtung

Aus der Gesamtschau der im Synthesebericht des BfS zu den konzeptionellen und sicherheitstechnischen Fragen der Endlagerung radioaktiver Abfälle diskutierten Beiträge ergibt sich, dass zu einer Reihe von Zweifelsfragen noch grundlegende Forschungsarbeit geleistet werden muss und dass nicht in allen Fragen Einvernehmen erzielt werden konnte. Offensichtlich besteht bei einigen Fragen weiterhin Diskussions- und Erläuterungsbedarf. Bei einigen Themenkomplexen sind nach Auffassung des Verfassers noch zusätzliche Aspekte mit zu berücksichtigen. Von einer abschließenden Beantwortung der sogenannten Zweifelsfragen kann somit noch nicht die Rede sein.

Im Hinblick auf den Standort Gorleben und das noch bestehende Moratorium liegen nach Auffassung des Verfassers aus der über- und untertägigen Erkundung sowie aus weiteren Literaturauswertungen genügend Erkenntnisse und Daten vor, die es zweifelhaft erscheinen lassen, dass die Einhaltung der geowissenschaftlichen Mindestanforderungen des AKEnd (2002) zur Gebirgsdurchlässigkeit, Mächtigkeit und Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches über einen Zeitraum von einer Million Jahren gewährleistet werden kann.

Nach Auffassung des Verfassers geben die vorliegenden Befunde über den Salzstock Gorleben –auch im Lichte der aktuellen Ereignisse bei der Asse II- Anlass zur alternativen Standortsuche. Die Laufzeit des Gorlebenmoratoriums ist bis auf weiteres zu verlängern.

6. Literaturverzeichnis -12 Zweifelsfragen-

AKEnd (2002): Auswahlverfahren für Endlagerstandorte – Empfehlungen des Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AKEnd), Abschlussbericht, Dezember 2002, 262 S.

BAUER, G (1991): Kryogene Klüfte in norddeutschen Salzdiapiren? –Zbl. Geol. Paläontol., Teil 1, Heft 4: 1247-1261, 9 Abb.; Stuttgart.

BGR (1995): Endlagerung stark wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in tiefen Geologischen Formationen Deutschlands. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 4 Anl., 1 Anh., 5 Abb., 16 Tab.; Hannover.

BMU (2001): Sicherheitstechnische Einzelfragen zur Endlagerung.
Bundesministerium für Umwelt, Natur und Reaktorsicherheit, Bericht (Stand November 2001).

(2009): Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle., 22 S., Juli 2009, Berlin.

BORNEMANN, O et al. (2008): Standortbeschreibung Gorleben Teil 3: Ergebnisse der über- und untertägigen Geologischen Erkundung des Salinars, - Geol. Jb., **C 73**; 50 Abb., 7 Tab., 5 Anl., Hannover.

CHEMIA, Z., SCHMELING, H. KOYI, H., (2009): The effect of salt viscosity on future evolution of the Gorleben salt diapir, Germany: Tectonophysics 473, 446-456

DUPHORN, K. (2000): Aktuelles zum Gorleben-Moratorium und zu den Projekten Gorleben-Süd und –Nord. Loccumer Protokolle4 02/00;79-109, 4 Abb., Loccum.

Klinge, H. et al. (2007): Standortbeschreibung Gorleben Teil 1: Die Hydrogeologie des Deckgebirges des Salzstocks Gorleben,- Geol. Jb., **C 71**; 59 Abb.,4 Tab, 1 Anl., Hannover.

Anhang 1

Historischer Abriss

Anhang 2

Dokumentation der im Verlauf der Endlagerdiskussion benannten Salzstöcke

Historischer Abriss -Kernenergie-
Nutzung - Salzkonzept/ Asse - Entsorgungskonzept u. Wiederaufarbeitungsanlagen - externe Zwischenlager -Nukleares Entsorgungszentrum Gorleben - Der „Geo-Konflikt“ Gorleben

Datum	Inhalt	Quelle	Anmerkung U.Schneider
26.05.1952	Unterzeichnung des Deutschlandvertrages-Regelung der Beziehungen zwischen den drei Westmächten und der Bundesrepublik Es wird der Bundesrepublik Deutschland die Erlaubnis zur Errichtung eines kleinen Uranbrenners von 1500 KW in Aussicht gestellt.	A.T., S 48	
27.05.1952	Unterzeichnung der Verträge zur Europäischen Verteidigungsgemeinschaft (EVG)		
05.1953	Die Bundesregierung ruft die „Studienkommission für Kernenergie“ als „die deutsche Kernenergie vorbereitendes Greminum“ ins Leben.	A.T S. 49	
1954	Ablehnung des EVG-Vertrages durch die französische Nationalversammlung		
1954	Zwei Tage nach der Ablehnung wird die „Studienkommission für Kernenergie“ durch die Physikalische Studiengesellschaft Düsseldorf mbH abgelöst. Initiator ist der Bund der Deutschen Industrie (BDI) mit16 Unternehmen und einem Stammkapital von 100.000 DM. Es soll die wissenschaftliche Arbeit für die friedliche Nutzung der Kernenergie gefördert werden.		
1954	Inkrafttreten der sogen. Pariser Verträge. Der zivilen Kernenergienutzung stehen besatzungsrechtlich keine Hindernisse mehr im Weg.	A.T. S. 50	
10.1955	Schaffung des Bundesministeriums für Atomfragen (BMAt)		
12.1955	Gründung der Deutschen Atomkommission (DAtK)		
07.1956	Kernreaktor Bau- und Betriebsgesellschaft mbH (KBB) , Karlsruhe	A.T. S. 52	
1956	Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schifffahrt (GKSS, Geesthacht)		
12.1957	Dt. Bundestag verabschiedet erstes Atomprogramm für die Jahre 1958-1962		
09.12.1957	Memorandum des DAtK: Es ist von Forschungsarbeiten die Rede, die sich „vor allem auf die sichere Beseitigung oder Verwertung radioaktiver Rückstände sowie auf die Dekontamination von radioaktiven Verunreinigungen erstrecken“ sollten	A.T. 120	
1959	Kernforschungsanlage (KFA) Jülich		
1959	Zusammenfassung der in der Atomindustrie tätigen Vereinigungen der BRD im Deutschen Atomforum. (DAtF)		
01.01.1960	Inkrafttreten des Atomgesetzes (ATG). BRD 1. Land mit ges. Regelung	A.T.S.53	
	Erstes Bundesdeutsches Kernkraftwerk in Kahl, Leichtwasserreaktor	A.T. S.62	
1961	In einem Bericht für den BMAt zur Sammlung und Lagerung radioaktiver Abfälle wird darauf hingewiesen, wie umstritten die Versenkung radioaktiver Abfälle im Meer in der internationalen Forschung (Monaco-Konferenz 1959) gewesen war. Daraus wird der Schluss gezogen, dass sich die BRD auf ein Beseitigungsverfahren an Land konzentrieren sollte. Die Meeresversenkung wird jedoch weiterhin als Option angesehen.	A.T. S. 130	
1967	Die BRD beteiligt sich im Rahmen einer internationalen Aktion der ENEA an einer Versenkungsaktion von LAW rund 400 km vor der portugiesischen Küste in einer Tiefe von gut 4.000 m. (180 Tonnen 200 DM/Tonne) Sea Dumping	A.T. S. 131	
1968	Auftragserteilung durch RWE für Biblis A (1200 MW, damals größtes AKW der Welt).	A.T. S.63	
September 1971	Erstes Deutsche Wiederaufbereitungsanlage (WAK) in Karlsruhe wird in Betrieb genommen (Stilllegung 1990 nach Aufarbeitung von 208 t Kernbrennstoff)	A.T. 117	
	Salzkonzept/ Asse		
1955/56	Überlegungen zur Endlagerung von radiaktiven Abfällen im Salz werden in den USA (1955, Genfer UN-Konferenz zur friedlichen Nutzung der Kernenergie) und in Deutschland vom Münchner Petrographen Georg Fischer mit Nachdruck vorgeschlagen. Nach Fischers Auffassung handelt es sich um das beste bis dahin bekannte Verfahren.	A.T. S. 134,135	
1958	Auf der zweiten Genfer Konferenz wird von amerikanischen Teilnehmern ein Konzept für eine Pilotanlage für die Einlagerung von festen und flüssigen Abfällen im Salz vorgestellt.	A.T. 136	
1959-1961	Im Arbeitskreis Strahlenschutz und Sicherheit der DAtK wird das Salzkonzept thematisiert.	A.T. S.137	
19.10.1959	Im Arbeitskreis Strahlenschutz und Sicherheit der DAtK wird auch die Möglichkeit der Nutzung von Eisenerzgruben (z.B. Allerheiligen) vorgeschlagen.Die Bundesanstalt für Bodenforschung soll eine Studie für ein „Zentrallager in Salzformationen“ erstellen. Neben der Endlagerung im Urgestein soll auch über Möglichkeiten in aufgelassenen Salzbergwerken berichtet werden.	A.T. S. 137,138	d.h.bereits vor 50 Jahren Keime für Asse und Konrad gelegt
07.07.1961	Vom AK (AK III-IV/1) wird die oberirdische Endlagerung für die BRD ausgeschlossen. Für die BRD kämen nur unterirdische geologische Formationen in Betracht, wobei Salzstöcke oder aufgelassene Bergwerke besonders geeignet erschienen. Der Bau einer „Prototypanlage zum Studium der Endlagerung“ solle möglichst bald ins Auge gefasst werden, da der Bedarf für ein Endlager 1967/68 gegeben sei.	A.T. S. 138	

Datum	Inhalt	Quelle	Anmerkung U.Schneider
Sommer 1962	Geologe Wagner berichtet über die Arbeiten der BfB zum Gutachten „Möglichkeiten der Endlagerung radioaktiver Abfälle im Untergrund“. Er hält die Schaffung neuer unterirdischer Hohlräume für wirtschaftlicher als die nachträgliche Anpassung aufgelassener Bergwerke.	A.T. S. 138	Asse, Konrad
1962	Im Arbeitskreis war wegen des Vorhandenseins von Salzstöcken in Niedersachsen und juristischen Gründen (Grundeigentümerrechte) ein Standort in Niedersachsen im Gespräch	A.T. S. 140	
12.1962	Es wird im Arbeitskreis ein 3-Stufenplan für das weitere Vorgehen beschlossen: 1. Stufe: Vorbereitung eines Planungs- und Projektauftrages für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einer Salzkaverne mit Formulierung konkreter Forderungen für Ort, Raumbedarf usw. 2. Stufe: Planungs- und Projektauftrag soll an eine Firma des Bergbaus vergeben werden 3. Stufe: Beinhaltet Auftrag zum Bau eines Endlagers	A.T. S. 140	es ist mir bis heute kein Grund für die Aufgabe des Kavernenkonzeptes bekannt
04.05.1963	DAtK verabschiedet das zweite Atomprogramm mit Favorisierung des Salzkonzeptes. Die Möglichkeit anderweitiger Lagerung auf Basis internationaler Organisationen sollte jedoch weiter verfolgt werden. Gründe für Salzkonzept: große Dichte, für Flüssigkeiten und Gase „praktisch“ undurchlässig, hohe Wärmeleitfähigkeit, Standfestigkeit, Häufigkeit der Vorkommen besonders in der nordeutschen Tiefebene.	A.T. S. 140	Verfechter des Salzkonzeptes: Wagner, Richter, Martini
15.05.1963	Im BfB-Bericht „Zur Frage der Möglichkeit der Endlagerung radioaktiver Abfälle im Untergrund“ empfiehlt der Präsident der BfB (Prof. H.J. Martini) Vorkommen, bei denen die größte Gesteinsmasse relativ reinen gleichförmigen Steinsalzes ansteht.	A.T. S. 139	
	Bei der Erörterung der Lagerung in bereits vorhandenen Grubenräumen wird		weitere Hinweise auf Asse in A.T. S.142
	von Martini ausdrücklich das Bergwerk Asse II erwähnt. Martini und Richter-		Erwerb der Asse am 12.03.1965
	Bernburg weisen auf die günstige Gelegenheit hin, die sich durch den Kauf der		4.4.1967 Beginn der versuchsweisen Einlagerung
	Asse ergeben würden.		von LAW
			09.1972 Beginn Versuch MAW
	Der Vertreter des BMwF favorisiert die Aussolung einer Kaverne mit Hinweis auf Verhandlungen der GfK mit EURATOM, die die Realisierung eines		125.000 Behälter LAW; 1.300 Fässer MAW
	Kavernenprojektes zum Ziel hatten.		12.07.1963 AK-Sitzung: BMwF-Vertretrer Straimer
			erhebt wg. Asse Bedenken (Kosten und Eignung)
	Es wird im AK ein zweigleisiges Vorgehen abgestimmt. Kavernenbau und Verhandlungen mit der Wintershall AG über den Verkauf des Bergwerks. Asse II.		A.T. S. 147
12.12.1963	Mit Erlass ersuchte das BMwF die BfB um die Benennung einiger Salzvorkommen, die geeignet zur Aussolung von Kavernen zwecks Endlagerung radioaktiver Abfälle geeignet sind.	A.T. S. 151	
19.03.1964	BfB-Bericht „Projekte zur Endlagerung radioaktiver Abfälle in ausgesolten Kavernen“ (Prof. Dr. Richter-Bernburg; Dr. Hofrichter; gez. Martini) Auswahlkriterien: hinreichende Mächtigkeit, keine allzu große Tiefe, gute Verkehrsanbindung: Die Nachbarschaft zu bestehenden Reaktoren ist von einem gewissen Interesse. Weitere Voraussetzungen: 100.000m³-Kaverne, Höhe 100 m Bedingungen an die Salzformation: 1.: ein Vorkommen von möglichst homogen zusammengesetztem Steinsalz ohne Einschaltungen von Carnallit- oder Anhydritgestein 2.: Die Mächtigkeit der Salzformation von mindestens 400 bis 500 m, damit über der Kaverne ein ausreichendes Dach und unter der Kaverne eine genügende Salzmächtigkeit gewährleistet ist. 3.: Eine „gewisse“ Größe des Salzkörpers, damit eine Kaverne mit ausreichendem Abstand zum Nebengestein ausgesolt werden kann. 4.: Eine Lage der Oberfläche des Salzstockes zwischen 300 und 800 m unter Flur, „damit neben der Sicherheit auch die Wirtschaftlichkeit gewahrt bleibt.“ 5.: Ein möglichst wenig permeables Deckgebirge, z.B. Ton- oder Mergelgestein, um den technischen Aufwand zur Einbindung der Verrohrung von Bohrlöchern in das Gestein möglichst wirtschaftlich zu halten. 6.: Möglichkeit zur Beseitigung der Salzwässer, also günstige Lage zu einer für die Aufnahme geeigneten Vorflut. Hauptbestandteil des BfB-Berichtes ist die Darstellung von sechs einzelnen Salzformationen (4 Salzstöcke: Heide, Geesthacht, Harsefeld, Bunde/Jemgum) (zwei flache Salzablagerungen (Krummendeich und Leutesheim)	A.T. S. 151	
19.06.1964	Auf Ersuchen des BMwF wird eine Darstellung des Salzstocks Bremen-Lesum nachgereicht.	A.T. S. 154	
1964	politisch gewollte Trennung von Abfallproduzenten Gesellschaft für Kernenergie (GfK) und Abfallbeseitiger Gesellschaft für Strahlenschutz (GfS)	A.T. S. 144	
Oktober 1964	Die Studiengruppe Tieflagerung der GfK nahm über die Überlegungen des BfB hinaus eigene Standortüberlegungen vor. Es wurden nicht die schichtförmigen, sondern ausschließlich die domartigen Salzlagerstätten für die Anlage von Kavernen vorgesehen	A.T. S. 154	

Datum	Inhalt	Quelle	Anmerkung U.Schneider
	Anforderungen seitens der GfK: Vorhandensein eines reinen Steinsalzkörpers von min 1km Durchmesser, 500 m Dicke und einem Deckgebirge von bis zu 1 km. Soleableitung und Tieflage des Salzstocks und der Inhalt der Salzlagerstätte. Ableitungsmöglichkeit in die Vorflut, Deckgebirge 200-1000 m, möglichst reines Steinsalz ohne Kalisalze, Volumen der Kaverne 10.000-15.000 m3. Von den 200 nordeutschen Salzstöcken schieden 100 aufgrund zu großer Tieflage und Mächtigkeit des Deckgebirges aus. Aufgrund der Ableitungsmöglichkeit, der Intaktheit des Salzstockes und des Vorhandenseins von Steinsalz blieben die Salzstöcke Bunde, Lesum, Harsefeld übrig. Die Salzstöcke Heide und Geesthacht erschienen als bedingt geeignet.	A.T. S. 155	
Juni 1965	Wegen ungünstiger Verhältnisse für die Ableitung der Sole zerschlug sich der Standort Harsefeld. Der Senat der Hansestadt Bremen lehnte wegen der großen Bevölkerungsdichte und einem anstehenden Bebauungsgebiet Salzstock Lesum ab.	A.T. S. 157	
01.06.1965	Arbeiten zur Standortauswahl gehen von der GfK an die GfS, Betriebsabteilung Tieflagerung. Sie werden in Zusammenarbeit mit BfB weitergeführt. Die GFS kam im Gegensatz zur GfK zu einer anderen Bewertung der Salzstöcke: 1. Bunde, 2. Geesthacht, 3. Lesum und Meldorf, 4. Harsefeld, 5. Jemgum Beim Standort Bunde zeigten sich erheblich Schwierigkeiten hinsichtlich des Erwerbs bzw. der Pacht des erforderlichen Grundstücks. EURATOM drang darauf nicht auf den Standort Geesthacht auszuweichen.	A.T. S. 157	
10.1966	Aufgrund der vertraglichen Schwierigkeiten am Standort Bunde machte GSF dem Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung (BMwF) den Vorschlag, das Projekt „in seiner reinen Forschungsphase“ an die Asse zu verlegen.	A.T. S. 162	Asse
22.12.1966	BMwF ersucht Bundesanstalt für Bodenforschung (BfB) um weitere Einzeldarstellungen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle. Als weitere Standorte werden die Salzstöcke Oldenswort und Heide-Nord benannt. Für den Standort Oldenswort kam wegen erhöhtem Kaufpreis (250.000,–) und Anschlusskosten in ca. gleicher Höhe sowie einer Forderung des Landkreises nach Neubau einer Brücke über die Eider (ca. einige Millionen DM) kein Kaufvertrag zustande. Überlegungen bezüglich einer Versuchskaverne in der Asse wurden wieder aufgenommen.	A.T. S. 163	Asse
11.1968	GfK und GSF schlagen die Erstellung einer Prototyp-Kaverne auf der Schachtanlage Asse II vor. Bohrloch 70 cm bis 750 m-Sohle. Kaverne in 900 m anlegen und 5.000 m³ groß. Geschätzte Kosten 5,1 Mio.DM	A.T. S. 1634	Asse
05.1969	Fa. Deilmann AG wird mit einer Untersuchungsbohrung beauftragt	A.T. S. 165	Asse
1971	Eine amerikanische Firma wird mit einer weiteren Bohrung beauftragt.		
1974	Beginn der Arbeiten zur Errichtung der Prototyp-Kaverne		
1976/77	Erstellung der Kaverne.		
31.12.1978	Einlagerungsgenehmigung lief ab. Es konnte somit 1979 nicht wie vorgesehen mit der Einlagerung von schwach radioaktiven Abfällen begonnen werden. Kaverne dient wie das gesamte Bergwerk seitdem ausschließlich Forschungs- und Entwicklungsarbeiten mit künstlichen Strahlungsquellen (in A.T. Fußnote 460 wird entgegen der Planung ein Kavernenvolumen von 10.000 m³ angegeben und eine Tiefe von ca. 1.000 m unter Flur)	A.T. S. 166	Asse
1995	Beginn der Verfüllung der alten Abbaue um langfristige Standsicherheit zu gewährleisten.		
			aktuellere Hinweise zur Asse sind nicht erhoben worden
	Entsorgungskonzept und Wiederaufarbeitungsanlagen		
12.7.1963	BMwF spricht davon, dass es vorteilhaft sei, Abfälle direkt am Ort der Entstehung endzulagern, d.h. Salzkavernen dort anzulegen, an dem auch eine Wiederaufarbeitungsanlage (WAA) oder ein Reaktor errichtet werden kann	A.T. S. 229/230	
1969	Der Vorstand der Hoechst AG beschließt die Planung und den Bau einer großen deutschen Wiederaufarbeitungsanlage (Kosten ca. 300 Mio DM)	A.T. S. 264	
1970	BMWB und Industrie (GWK) beginnen Gespräche mit den englischen und französischen Wiederaufarbeitern. (GWK = Hoechst, Nukem, Gelsenberg, Bayer)	A.T. S. 265	
23.08.1971	Gründung der Kooperative Entwicklung wirtschaftlicher Anwendungen (KEWA) durch die Gemeinsame Wissenschaftskonferenz (GWK)	A.T. S. 265	
13.10.1971	KEWA beteiligt sich an der Gründung des englisch-französischen Wiederaufarbeitungsunternehmens (URG)	A.T. S. 265	
14.09.1973	Wiederaufarbeitung im Ausland ist nur dann möglich, wenn die Kraftwerks-betreiber die radioaktiven Abfälle zurücknehmen.	A.T. S. 232-20	
15.04.1973	Übergang der Zuständigkeit für Reaktorsicherheit und Strahlenschutz vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMFT) zunächst eimal auf das Bundesministerium des Innern (BMI)	A.T. S. 239	

Datum	Inhalt	Quelle	Anmerkung U.Schneider
2.-5.4.1974	Grundsätze für ein bundesdeutsches Entsorgungskonzept Vortrag auf Reaktortagung des Deutschen Atomforums e.V. (DAtF) und der Kerntechnischen Gesellschaft (KTG) 1. Wiederaufbereitung, Spaltstoffrecycling, Abfallbehandlung und -lagerung stellen ein integriertes Gesamtsystem dar. 2. Für middle active waste (MAW) und SAW wird sofortige Endlagerung am Standort der WAA vorgesehen, d.h. WAA-Standort richtet sich nach der Lagermöglichkeit 3. HAW wird als verfestigtes Produkt für mehrere Jahre zwischengelagert.	A.T. S. 236	
Nov. 1975	KEWA-Projektleiter Issel trägt wesentliche Punkte der ersten industriellen WAA vor. Anstatt kostengünstiger WAA nunmehr höchstmögliche Zuverlässigkeit.Sicherung gegen Erdbeben, Flugzeugabsturz, Einwirkungen von außen incl. Abfallbehandlung, Stilllegung und Rückbau der Anlage. 1400 Jahrestonnen, Baubeginn in 1977, Einlagerungsbeginn 1982, Volllast 1985, Betriebsdauer min. 15 Jahre. Kosten 2,3 Mrd. DM. favorisierter Standort Salzstock Wahn, ab 1976 Wesen-Lutterloh	A.T. S. 309-11	
10.05.1976	Die KEWA erhält von der PWK den Auftrag zur Vorplanung der WAA (Vorprojekt, Basic- und Detailengenieering, Ing-Leistung für die Errichtung und den Betrieb der WAA, Kostenschätzung, Terminplan, vorläufiger Sicherheitsbericht, Unterstützung beim Genehmigungsverfahren.) Honorar: 30 Mio. DM netto. Voraussetzungen: Erweiterbar auf 2x1.400 Jahrestonnen, Betriebsdauer 25 Jahre, Betriebsbeginn 1988 und	A.T. S. 312	
	im Gorleben-Hearing (01.1979) wird von einer Inbetriebnahme im Jahr 1994 gesprochen	A.T. S. 324	
30.08.1976	4. AtG-Novelle §9a AtG: grundsätzliche Verpflichtung zur schadlosen Verwertung radioaktiver Reststoffe und zur geordneten Beseitigung (Behandlung, Sicherstellung und Endlagerung) radioaktiver Abfälle, für jeden, der mit radioaktiven Stoffen umging, in allen Phasen der Nutzung. -> d.h. Verwertungsgebot bis ins Jahr 1994 gültig, danach Gleichstellung von WAA und direkter Endlagerung ohne WAA	A.T. S. 251	
1976	Risikobeteiligungsvertrag zwischen PWK und BMFT: Bund verpflichtet sich 10 Mio. DM zu zahlen, wenn die WAA aus nicht von der PWK zu verantwortenden Gründen nicht gebaut würde. Wenn im Bundesgebiet eine Konzeptgenehmigung nicht erteilt werden könnte, verpflichtet sich der Bund 30 Mio. DM zu zahlen.	A.T. S. 305/306	Ist das Geld geflossen????
Winter 1976	Finanzierungsüberlegungen gehen von Kosten von 3,63 Mrd. DM für das gesamte Entsorgungszetrum aus. Davon 1,6 Mrd. DM für die WAA. (incl. Inflation 5,777 Mrd. DM bzw. 2,6 Mrd. DM).		
28.02.1977	Umgründung der PWK in die DWK (Deutsche Gesellschaft für die Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen mbH) Aufsichtsrat: 16 Vertreter der Gesellschafter Vier RWE, drei PreußenElektra und NWK, alle übrigen Energieversorgungsunternehmen (EVU's) je einen Als Sitz der Gesellschaft wird auf Wunsch der Niedersächsischen Landesregierung Hannover in Aussicht gestellt.	A.T. S. 319/20	
01.09.1977	Die DWK (von den EVU`s vorgesehene Gesellschaft für die Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen) übernimmt von der Chemischen Industrie die KEWA	A.T. S. 268	
14.10.1977	Ministerpräsidentenkonferenz trifft Entscheidung über die Aufnahme eines Zwischenlagers in NRW	A.T. S. 339	
1989	EVU`s steigen aus der Wiederaufarbeitung aus	A.T. S. 324	
	Externe Zwischenlager		
1976	Die PWK fordert die EVU`S auf Standortalternativen für ein externes Zwischenlager vorzuschlagen (als Zwischenlösung bis zur Errichtung der nationalen WAA und der Wiederaufarbeitung im Ausland). Es handelt sich dabei um Grundstücke, die bereits im Besitz der EVU's waren. Es wurden benannt: Wertingen, Großwelzheim in Bayern, Meppen (Nds) und Ahaus (NRW).	A.T. S. 346	
14.03.1977	Erneute Aufforderung der PWK an die EVU`s wegen der politischen Schwierigkeiten mit der Standortfestlegung weitere Standorte zu benennen. Es wurden Karlstein (By), Borken (Hessen), Krümmel (S.-H.) benannt. Reaktion der Landesregierungen war negativ, da das Zwischenlager am Standort des Entsorgungszentrums, also in Gorleben errichtet werden sollte.	A.T. S. 348	
21.04.1977	Der niedersächsische Ministerpräsident Dr. Ernst Albrecht sprach sich aus politischen Gründen dagegen aus, neben dem Entsorgungszentrum auch das zentrale Brennelementelager in Gorleben oder in Niedersachsen aufzunehmen	A.T. S. 348	
06.05.1977	Bundeskanzler und Ministerpräsidenten setzen einen Staatssekretärausschuss für die Standortfrage ein, der im Juli 1977 die Notwendigkeit der Zwischenlagerung feststellte.	A.T. S. 348	
14.10.1977	Nach der Ministerpräsidentenkonferenz erklärt der NRW-Ministerpräsident die Bereitschaft ein Lager zu akzeptieren. Der Vorschlag Ahaus wird Ende 1977 in der Öffentlichkeit bekannt. Die Vertragsvehandlungen Bund, Land, DWK und Stadt gestalten sich als sehr schwierig	A.T. S. 349	
01.1978	DWK/STEAG stellt den atomrechtlichen Antrag für das Brennelement-Zwischenlagere Ahaus	A.T. S. 361	
11.1979	DWK-Aufsichtsrat stimmt dem Ansiedlungsvertrag mit der Stadt Ahaus zu	A.T. S. 360	

Datum	Inhalt	Quelle	Anmerkung U.Schneider
09.1979	Reaktorsicherheitskommission erklärt das Konzept der Trockenlagerung in CASTOR-Behältern für realisierbar.	A.T. S. 363	
10.1979	DWK stellt zusätzlich zum Antrag auf Naßlagerung den Antrag für Trockenlagerung	A.T. S. 363	
06.1984	Die DWK gründet die Brennelemente-Zwischenlager Ahaus GmbH	A.T. S. 360	
07.1984	Baubeginn des Zwischenlagers	A.T. S. 360	
	Nach mehreren Gerichtsurteilen mit Baustopp im Mai 1985 wurde in 1988 der Baustopp aufgehoben und das Lager in den Jahren 1988-90 fertiggestellt. Nach DWK-Aufstellung war das Zwischenlager Ahaus um 11 Mio. DM teurer als das Zwischenlager in Gorleben, das in 1984 fertigestellt worden war.	A.T. S. 365	
06.1992	Die ersten CASTOR-Behälter mit Brennelementkugeln des Thorium-Hochtemperaturreaktors Hamm-Uentrop werden eingelagert. Bis 1995 57 Bahntransporte mit 305 Behältern	A.T. S. 366	
14.05.1998	Umweltministerin Angela Merkel verfügt Transportstop wegen vorangegangener Grenzwertüberschreitungen an den Behälteroberflächen	A.T. S. 366	
	Nukleares Entsorgungszentrum		
	Standortvorauswahl		
Anfang 1972	KEWA übermittelt BfB und Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung (NLfB) eine Studie mit Voraussetzungen für eine Standortvorauswahl für eine WAA mit Endlagerpotential.	A.T. S. 383	
1972	Geologe G. Lüttig erarbeitet mit seinem Kollegen Rolf Wager im Auftrag der KEWA eine streng vertrauliche Studie über 100 niedersächsische Salzstöcke. Danach sei Gorleben aus drei Gründen nicht in Betracht gekommen: 1. Vermutete Carnallit-Vorkommen Analog zu Wustrow 2. Wenig geologische Erkenntnisse 3. Abtauchen der Salzstockoberfläche in Richtung Rambow um mehrere hundert Meter. Das deutete auf die Möglichkeit von Ablaugungsvorgängen in diesem Gebiet hin.	A.T. S. 379/78	
	Zeitgleiche Untersuchungen im BfB (später BGR) im Auftrag des BMfW „im Hinblick auf die Nutzung von Salz und die Einrichtung von Speicherkavernen und Deponieräumen“	A.T. S. 383	
30.09.1974	Feasibility-Studie über präsumtive Standorte einer Wiederaufarbeitungsanlage für Kernbrennstoffe, G. Lüttig und R. Wager, im Auftrag der KEWA	A.T. S. 380 -12	
1974	KEWA-Studie im Auftrag des BMFT „Ermittlung mehrerer alternativer Standorte in der BRD für eine industrielle Kernbrennstoff-Wiederaufarbeitungsanlage“. Die Standortüberlegungen gingen von einer projektentscheidenden Bedeutung einer umwelt- und sicherheitstechnisch optimalen Standortkonzeption aus. (geringe Bevölkerungsdichte <100 EW/km², unterdurchschnittliche Viehwirtschaft 30 Rinder/km², Ausschluss von ausgesprochenen Ferien- und Erholungsgebieten. Weitere Kriterien: Sicherheitskriterien (Geologie, Hydrogeologie, Seismik, Meteorologie) wirtschaftl. Kriterien (Verkehrsdichte, Wasser-, Energieversorgung, industrieller Entwicklungsstand).	A.T. S. 384	
	Die Umweltkriterien wurden an die bundesdeutschen Landkreise angelegt. Im gesamten Bundesgebiet wurden nach den o.a.Kriterien 26 Standortmöglichkeiten ermittelt, von denen bei unterschiedlicher Wichtung der Kriterien zehn Standorte am günstigsten abschnitten.	A.T. S. 385	
	Nach Ausschluss der Standorte WAK (Karlsruhe) Friedrichskoog wurde für die verbleibenden acht Standorte ein Gutachten des NLfB angefordert. Das Gutachten (Grobabschätzung) schlug die Standorte Ahlden, Börger, Faßberg, Uchte und Lütau für weitere Untersuchungen vor.	A.T. S. 386	welche Standorte waren das
	In Verbindung mit einer Vorstudie der Fa. Kavernenbau und BetriebsGmbH über Salzstöcke in Niedersachsen und Schleswig-Holstein mit Angaben zur Größe, Längen- und Breitenerstreckung, Tieflage, Seismik ergab sich eine Liste von 17 Salzstöcken in Niedersachsen und Schleswig-Holstein in Gebieten, welche die KEWA als geeignet vorgegeben hatte.	A.T. S. 386	
	Nach weiterem Ranking ergaben sich die drei am besten geeigneten Standorte in Niedersachsen: Börger (Wahn), Ahlden (Eilte, untersucht wurde Lichtenhorst), Faßberg (Dethlingen, untersucht wurde Weesen-Lutterloh).	A.T. S. 387	
	Der Standort Lütau in Ost-Holstein, Salzstock Julienlust, schied aufgrund der Nähe zur DDR aus.		Gorleben lag auch in der Nähe der DDR
August 1975	Das BMFT bewilligt für die Untersuchung der drei niedersächsischen Standorte 8 Mio. DM. Beginn am Standort Börger (Wahn), an den anderen kleineres Programm. Aufgrund von öffentlichen Forderungen nach Gleichzeitigkeit und	A.T. S. 387/388	
1976	Gleichrangikeit der Untersuchungen wurde ein erweiteretes Untersuchungsprogramm von der KEWA beantragt, das nicht mehr zur Ausführung kam, da Niedersachsen eine Aussetzung der Standorterkundung gefordert hat. Wahn –> Rechtsstreit mit der Grundstückseigentümerin Lichtenhorst –> Demonstranten verhinderten die Einrichtung des Bohrplatzes Lutterloh –> 1 Salzstock-Erkundungs-Bohrung und mehrere Flachbohrungen		

Datum	Inhalt	Quelle	Anmerkung U.Schneider
Mai oder Juni1976	Interministerielle Arbeitsgruppe unter der Federführung des niedersächsischen Wirtschaftsministeriums nimmt Tätigkeit auf. Ziel war es: „... unabhängig und losgelöst von den bisherigen Untersuchungen des Bundes und der Industrie Grundlagen für eine vorläufige Standortuntersuchung der Landesregierung zu erarbeiten“.	A.T. S. 391	Hier beginnt der Start für Gorleben Hierzu Fußnote A.T. 901 auf S. 591 wg. evtl. Einflussnahme durch die Staatskanzlei
	4-Phasen-Auswahlprogramm: 1. 140 Salzstöcke wurden überprüft, ob ein 3x4 km großes Standortgelände vorhanden war. Dies traf auf 23 Salzstöcke zu. 2. Auswahl nach fünf Kriterien: Lage, Besiedlungsdichte, Konkurrierende Nutzungsansprüche, Größe, Tieflage des Salzstocks. Es verblieben 13 Salzstöcke. 3. Kriterien nach raumordnerischen Empfehlungen der Innenministerkonferenz zur Standortauswahl bei Energieanlagen (u.a. Sicherheit und Umwelt, Besiedlungsdichte, Baugrund, Erdbeben, Flugverkehr, Meteorologie, radiologische Vorbelastung, Lage des Betriebsgeländes über dem Salzstock, Tieflage Wasserversorgung durch Grund- und Oberflächenwasser, Verkehrsanbindung Oberflächennutzung, Besiedlung, Eigentumsverhältnisse im unmittelbaren Standortbereich. Es verblieben die vier Salzstöcke Wahn, Lichtenhorst, Gorleben und Höfer. 4. Außer Gorleben wiesen die drei anderen jeweils ein Ausschlusskriterium auf. Wahn: Standort im/am Gelände eines Schießübungsplatzes der Bundeswehr Lichtenhorst: Grundwasservorranggebiet von Hannover Höfer: mit 25 km² Ausdehnung als zu klein für die Anlage eines Endlagers erachtet. Die Ergebnisse der Arbeitsgruppe waren Grundlage der Kabinettsvorlage vom 09. Dezember 1976. Zuvor war am 11. November 1976 von Ministerpräsident Albrecht der Landkreis Lüchow-Dannenberg ins Spiel gebracht worden.	A.T. S. 392/393	
Winter 1976/77	Bundeskanzler Helmut Schmidt verdeutlicht dem niedersächsischen Miniterpräsidenten die Bedenken der Bundesregierung gegen den Standort Gorleben aus verteidigungs- und deutschland-politischen Gründen (Verfügungsmöglichkeit der DDR über den Salzstock Rambow.) Bundeskanzleramt präferierte Wahn oder Lichtenhorst. Bundesregierung nicht im Konsens mit der niedersächsischen SPD-Landtagsfraktion (Moratorium des Baus weiterer Kernkraftwerke)		
22.02.1977	Ministerpräsident Dr. Ernst Albrecht verkündet den Beschluss, dass	AT. S. 17/382	
	Gorleben Standort eines Nuklearen Entsorgungszentrums wird. (Endlager und weltgrößte Wiederaufbereitungsanlage)	416,594	
	Die Entscheidung für Gorleben als „vorläufigen Standort für eine möglich Anlage“ bedeute, dass die Betreiber Genehmigungsanträge stellen könnten, damit das Prüfverfahren eingeleitet werde. Für die zwei bis drei jährige Konzeptprüfung wurden Prüfkriterien genannt und der Vorrang der Sicherheit vor allen anderen Erwägungen betont.	A.T. S. 416	welche Prüfkriterien ???
	Die Bundesregierung verhält sich aus taktischen Gründen abwartend zu dem Beschluss. Sie behält sich einerseits die Option auf weitere Untersuchungen anderer Standorte offen, andererseits wird kein Einwand gegen den Antrag der DWK auf Errichtung des Nuklearen Entsorungszentrums (NEZ) erhoben und somit keine Zeit verloren.	A.T. S. 419	
	Nach Auffassung von Bundesminister Bau (Ravens) könne sich die Bundesregierung erst dann für den Standort Gorleben aussprechen, wenn die „technische Eignung“ feststehe, d.h. erst nach der Durchführung von Tiefbohrungen, die jedoch von Ministerpräsident Albrecht aus wahltaktischen Gründen vorerst abgelehnt wurden.	A.T. S. 420	
03.1977	Die DWK stellt den Antrag für die erste Teilerrichtungsgenehmigung, womit das atomrechtliche Verfahren eingeleitet worden ist.	A.T. S. 479	
05.05.1977	SPD-Abgeordnete kritisieren die Beschränkung der Standortauswahl auf den Salzstock Gorleben. Der Vorsitzende des Unterausschusses „Entsorgungszentrum“ der Reaktor Sicherheitskommission (RSK) (Prof. Hubertus Nickel) regte eine parallele Untersuchung von mehreren Standorten an, um umschalten zu können, wenn Gorleben sich nicht für die Lagerung aller Arten radioaktiven Abfalls eignen sollte. Der Präsident der Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Prof. Dieter Kind, sprach sich gegen eine Untersuchung mehrerer Standorte mit dem Hinweis aus, dass die PTB damit völlig überfordert sei.	A.T. S. 580-582	
Mai 1977	BGR-Kriterien in BMfT 1980: ausreichendes Volumen (Mächtigkeit von min. 100 m), Homogenität (Ausdehnung von einigen km²), ausreichende Tiefe (min. 200-300 m, höchstens 1.000-1.500 m). Standfestigkeit für mehrere tausend Jahre für künstlich geschaffene Hohlräume, geringe Porosität und Permeabilität, gute Wärmerleitfähigkeit, hohe Stabilität gegenüber hohen Temperaturen und ionisierender Strahlung sowie gute Ionen-Austauschkapazität zur Absorption radioaktiver Isotope. Tektonische und seismische Stabilität und Sicherheit bei bei klimatischen Veränderungen. Keine Nutzungseinschränkung natürlicher Resourcen (z.B. Grundwasser).	A.T. S. 556	
	BMfT und BMI: Das Wort Kriterien sei zu anspruchsvoll. Kriterien, die es auch dem Laien ermöglichen würden, die Eignung des Salzstockes zu beurteilen könne es nicht geben, da das Gesamtsystem „geologische Situation-Endlagerbergwerk-Abfallprodukte „ zu komplex sei. Man soll anstatt von Kriterien besser von Gesichtspunkten sprechen, die die Entscheidung beeinflussen	A.T. S. 558	
Juli 1977	Kabinettsausschuss zur friedlichen Nutzung der Kernenergie beschließt das Planfeststellungverfahren für das Endlager am Standort Gorleben einzuleiten, d.h. die Bundesregierung akzeptierte den Standort Gorleben als Standort für das NEZ	A.T. S. 422	

Datum	Inhalt	Quelle	Anmerkung U.Schneider
2.8.1977	Bundesminister Hans Matthöfer sagt zu, noch vor Beginn der Probebohrungen Kriterien für die Eignung des Salzstockes offenzulegen	A.T. S. 443	die Kriterien sind nicht näher benannt
Oktober 1977	Benennung der Mitglieder der Gorleben-Kommission	A.T. S. 453	
	Die Sachverständigen Hubertus Nickel (RSK) und Hillenbrand (Kraftwerk Union [KWU]) halten anlässlich der Anhörung zu Fragen des Umweltschutzes im Innenausschuss den Salzstock Gorleben für geeignet zur Einlagerung von LAW und MAW. Hinsichtlich der Einlagerung von HAW wird noch von einem Erkundungsrisiko gesprochen.	A.T. S. 424	
13.03.1979	Beginn der Flachbohrungen	A.T. S. 426	
10.09.1979	Entscheidung über die grundsätzliche sicherheitstechnische Realisierbarkeit des Entsorgungszentrums (vermutlich ist die Absicherung der Bohrstellen damit gemeint).	A.T. S. 426	
Oktober 1979	Gründung der bäuerlichen Notgemeinschaft	A.T. S. 540	
03.-04.1979	Gorleben-Hearing		hierzu keine gesonderten Ausführungen
Frühjahr 1979	offizielle Aufnahme der Informationsstelle von Bund und Land in Lüchow	A.T. S. 441	
16.05.1979	Regierungserklärung Dr. E. Albrecht Empfehlung an die Bundesregierung, dass „das Projekt Wiederaufbereitung“ nicht weiter verfolgt werden soll.	vorher und	
	Es wurde jedoch keinerlei Aussage darüber getroffen, wie lange auf die Errichtung verzichtet würde (kein Ja in Wartestellung), interpretationsfähige Zeitangaben wie: „für den Zeitraum den wir zu entscheiden haben“, „für diese Generation“, „für diese Politiker-Generation“. Es ist aber auch keine Entscheidung „für die Ewigkeit.“	A.T. S. 503 A.T. S. 669	
	Die Kritiker des Nuklearen Entsorgungszentrums begrüßten Albrechts Entscheidung kritisierten diese jedoch in folgenden drei Punkten: 1. Obwohl durch die inhärent sichere Lagerung das Risiko sehr beträchtlich gesenkt würde, könne trotzdem nicht von einer sicherheitstechnischen Realisierbarkeit des Entsorgungszentrums gesprochen werden. 2. Die Konzentration der Erkundungsbohrungen auf den Standort Gorleben sei abzulehnen, weil Zweifel sowohl am Standort als auch am Salzkonzept bestünden. 3. Die mögliche Realisierung eines Zwischenlagers am Standort Gorleben lege die Schlussfolgerung nahe, dass der Projektvorschlag später doch noch realisiert werden solle.	A.T. S. 671,672	
Sommer 1980	Gründung der Brennelementzwischenlagergesellschaft Gorleben	A.T. S. 438	
November 1982	Dragahn kommt als Standort für die WAA ins Gespräch	A.T. S. 454	
13.07.1983	Entscheidung der Bundesregierung für die untertägige Erkundung des Salzstocks Gorleben.	A.T. S. 540-711	
20.04.1983	In den bundesdeutschen Sicherheitskriterien wird die “Endlagerung ... Als wartungsfreie, zeitlich unbefristete und sichere Entsorgung“ bei der „in groß-technischem Maßstab eine Rückholbarkeit der Abfälle nicht erforderlich ist“ definiert, sodass die Rückholbarkeit also per Definition ausgeschlossen ist.	A.T. S. 551-746	
20.06.1983	Alois Ziegler: „Die politische Zielvorgabe läuft darauf hinaus, ein im Rahmen der Schutzziele hinreichend sicheres Endlager zügig zu errichten. Es geht nicht um das beste Endlager irgendwann	A.T. S. 551-748	
05.01.1983	Die Sicherheitskriterien für die Endlagerung in einem Bergwerk (von der RSK formuliert) werden für die Endlagersuche in der BRD verbindlich gemacht	A.T. S. 560-785	in: Bundesanzeiger; 35. Jg. Nr. 2 v. 05.01.1983 S. 45 f
	Es wird hervorgehoben, dass der Endlagerstandort so auszuwählen sei, dass die Schutzziele während des Betriebes , der Stilllegung und der Zeit nach der Stilllegung gewährleistet sind. —> Methode Sicherheitsanalyse		Vergl. Bundespresseamt 17.12.1982, Wohin mit dem nuklearen Abfall, Anhang, S. 90-103
	Der „Geo-Konflikt“ Gorleben		
1978	Prof. Eckhard Grimmel: „Salzstock Gorleben hatte in den letzten 10.000 Jahren Kontakt mit dem Grundwasser. Salzstock ist noch nicht zur Ruhe gekommen.“	A.T. S. 563/564	
1978	BGR Venzlaff: Kontakt mit Grundwasser nur in der Kreidezeit >60 Mio. Jahre Geologische Stabilität des Salzstocks während der vergangenen 100 Mio. Jahre		
29.09.1978	Prof. Klaus Duphorn: Grenzüberschreitende Salzstruktur Gorleben-Rambow, Rambower-See, Elbknick- Salzbewegungen bis in das Holozän.Kalibohrung Nordenhall II, elstereiszeitliche Schmelzwasserrinnen. Er fordert eine quartärgeologische Spezialkartierung in Verbindung mit petrographischen Geschiebeanalysen	A.T. S. 565/566	
08.03.1979	PTB: Die Erkundung des Salzstockes selbst muss absolute Priorität haben. Erst wenn die grundsätzliche Eignung erwiesen sei, müsse zur „Beurteilung des Standortes insgesamt“ eine Erkundung des Deckgebirges und des Nebengesteins erfolgen.	A.T. S. 567	
29.03.1979	BGR: Eine Analyse des Aufbaus und geologischen Werdeganges der Deckgebirgsschichten ist notwendige Voraussetzung zur Beantwortung der gesamten hydrogeologischen Fragestellung sowie der Frage nach der Stabilität des Salzstockes. Über das geplante Bohrprogramm hinaus sollte man jedoch erst tätig werden, wenn man die geplanten Bohrungen ausgewertet habe.	A.T. S. 567	

Datum	Inhalt	Quelle	Anmerkung U.Schneider
11.1979	PTB beauftragt Duphorn mit der quartärgeologischen Kartierung, der quartär geologische-sedimentpetrographischen Bearbeitung der Bohrproben des hydrogeologischen Bohrprogramms und der quartärgeologischen Gesamtinterpretation (befristet bis Dezember 1981).	A.T. S. 567	
	Duphorn auf dem Endlagerhearing des BMfT in Lüchow: 300 m tiefe Gorlebenere Rinne als abflusslose Salzablaugungsrinne im Übergang Tertiät/Quartär angelegt. In der Elstereiszeit als Leitbahn genutzt und noch stärker ausgefurcht. Steiler Zahn reicht bis 133 m an die Erdoberfläche, Gipshut und Salzstock selbst ist auf einer Fläche von ca. 9,5 km² angeschnitten. Auf 7 km² liegen 160 m mächtige grundwasserführende Rinnensande unmittelbar auf dem Gipshut. Es bestehen potentielle hydraulische Verbindungen zwischen der Gorlebener Rinne und höheren Grundwasserstockwerken. -Es liegt eine „Schwachstelle" vor, „wie sie schwächer eigentlich kaum sein kann". Hochradioaktiver Abfall werde aber nicht im Quartär, sondern einige hundert Meter tiefer im Steinsalz gelagert. Wenn das Salz intakt und vom Volumen ausreichend sei, könne das Endlager gebaut werden. Der Salzstock sei allerdings gestorben, wenn auch noch eine ungünstige Innenstruktur hinzu käme.	A.T. S. 568	
	Venzlaff-BGR: Bevor Gorleben benannt war, war ich auch der Meinung, man sollte gleichzeitig mehrere Salzstöcke untersuchen, nur hat das natürlich zur Folge, einfach aus Kapazitätsgründen, dass die nicht so genau untersucht werden können....	A.T. S. 582	
	Dr. Randl-BMfT: vertritt die Ansicht, dass das ursprüngliche Vorgehen der Bundesregierung bis 1976 mit vergleichenden Standortuntersuchungen besser gewesen sei.	A.T. S. 583-873,874	
18.05.1981	BI: „Eine der Hauptbedingungen -kein direkter Kontakt von Wasser mit dem Salzstock - scheint im Gorlebener Salzstock nicht mehr erfüllbar zu sein	A.T. S. 569	
05.1982	Duphorn: Quartärgeologisches Fazit „ Erkundung anderer Lagerstätten". Der Salzstock Gorleben gehört aufgrund seiner Deckgebirgsstruktur nicht mehr zu den potenziellen Endlager-Standorten. Die Planungen zur Anlage des Endlagerschachtes „inmitten der staffelbruchartigen Zerrstruktur eines salinarektonischen Scheitelgrabens" wird kritisiert. Die geomechanische Stabilität und hydraulische Impermeabilität bis hinab zur Endlagerteufe kann durch die „salinare Viererbande von Gorleben (quartärter Diapirismus, Subrosion, Scheitelgraben, Salzstock-Überhang) in Frage gestellt werden.	A.T. S. 571	
08.04.1983	BGR-Venzlaff: Duphorns Fazit beruht auf einer „falschen Interpretation von Daten sowie auf unbewiesenen Annahmen". Die Interpretationen seien „nicht wissenschaftlich einwandfrei belegbar". „Die sachlichen Ergebnisse" seien für das Gesamtprojekt nützlich, die „unbewiesenen Interpretationen" jedoch nicht.	A.T. S. 575	
Mai.1983	PTB: Zusammenfassender Zwischenbericht über bisherige Ergebnisse der Standorterkundung in Gorleben. -Divergierende Auffassungen zwischen PTB, BGR und den beteiligten Bundesressorts. Für die PTB war in dem 2. Entwurf zu den Schlussfolgerungen aus dem zusammenfassenden Bericht (6.5.1983) „eine abschließende Aussage über eine ausreichende Rückhaltewirkung des Deckgebirges nicht möglich". Neben dem Abteufen der Schächte riet die PTB dazu, parallel Alternativstandorte zu untersuchen (Dieser Rat wurde wegen anderer Auffassung von BGR und den beteiligten Bundesministerien jedoch im publizierten Bericht fallen gelassen)	A.T. S. 584/585 880, 881	
	Informationsveranstaltung vor dem Schachtabteufen: Duphorn richtet an die BGR die Bitte, man möge aus den „unguten" Resultaten Konsequenzen ziehen und andere Salzstöcke erkunden. Venzlaff-BGR entgegnet, dass die Ablaugung des Salzstockes nicht dramatisch sei, so dass derzeit keine Gefährdung eines künftigen Lagers für radioaktive Abfälle zu befürchten sei. A.-G. Herrmann kritisiert, dass man bei der Ausarbeitung des deutschen Endlagerkonzeptes geowissenschaftliche Aspekte nur ungenügend berücksichtigt habe und die wenigen sazlagerstättenkundlichen Argumente unzulässig verallgemeinert habe. Desweiteren prangert er den mangelnden geowissenschaftlichen Sachverstand bei der PTB und in der RSK an. Er hält die Aussagen zur Eignung von Salz als Endlagergestein als vereinfachend und wirft den -ohne Namensnennung- Geologen Simplizität vor. Durch die wärmeproduzierenden Abfälle prognostizierte Herrmann Verformungen im Gesteinsverband, die zu Lösungsbewegungen im Salzkörper und zwischen Nebengestein bzw. Deckgebirge und Salzkörper führen. Duphorn und Herrmann zogen aus ihren Untersuchungen den Schluss, dass vor dem Schachtabteufen in Gorleben andere Salzstöcke untersucht werden sollten. Eine untertägige Erkundung des Salzstockes sei als „fester Bestandteil" des Untersuchungsprogramms weiter notwendig.	A.T. S. 578	
	Der BMfT-Bundesminister Erwin Riesenhuber spricht sich aufgrund der immensen politischen Belastung in den Standortregionen gegen die Untersuchung mehrerer Salzstöcke aus.	A.T. S. 586	
13.07.1983	Entscheidung der Bundesregierung für die untertägige Erkundung des Salzstocks Gorleben.	A.T. S. 540-711	
	Kurzchronologie der über- und untertägigen Erkundung des Salzstocks Gorleben		
1979-1984	Übertägige Erkundung des südl. der Elbe liegenden Salzstocks		
02. - 11.1982	Schachtvorbohrungen Go 5001 und Go 5002		
1986-1997	Abteufen der Schächte Gorleben 1 und Gorleben 2		
21.10.1996	Durchschlag zwischen den beiden Schächten auf der 840 m Sohle		
1996 - 1998	Über Tage Erkundung der Salzstruktur Gorleben-Rambow bis zur Löcknitz. Der nördlich davon angrenzende Bereich des Salzstocks Rambow mit der Subrosionssenke „Rudower See" liegt nicht mehr im Untersuchungsbereich		
02.1999	Der Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AKEnd) wird eingerichtet		
1.10.2000	Gorleben Moratorium		

Dokumentation der im Verlauf der Endlagerdiskussion benannten Salzstöcke

04.05.1963	DAtK verabschiedet das zweite Atomprogramm mit Favorisierung des Salzkonzeptes. **Gründe für Salzkonzept:** große Dichte, für Flüssigkeiten und Gase „praktisch" undurchlässig, hohe Wärmeleitfähigkeit, Standfestigkeit, Häufigkeit der Vorkommen besonders in der nordeutschen Tiefebene.	A.T. S. 140
19.03.1964	BfB-Bericht „Projekte zur Endlagerung radioaktiver Abfälle in ausgesolten Kavernen" (Prof. Dr. Richter-Bernburg; Dr. Hofrichter; gez. Martini) Hauptbestandteil des BfB-Berichtes ist die Darstellung von sechs einzelnen Salzformationen vier Salzstöcke: Heide, Geesthacht, Harsefeld, Bunde/Jemgum zwei flache Salzablagerungen: Krummendeich und Leutesheim	A.T. S. 151
19.06.1964	Nachmeldung Salzstock Bremen-Lesum	A.T. S. 154
10.1964	Die Studiengruppe Tieflagerung der GfK nahm über die Überlegungen des BfB hinaus eigene Standortüberlegungen vor. Es wurden nicht die schichtförmigen, sondern ausschließlich die domartigen Salzlagerstätten für die Anlage von Kavernen vorgesehen	A.T. S. 154
	Von den 200 nordeutschen Salzstöcken schieden hundert aufgrund zu großer Tieflage und Mächtigkeit des Deckgebirges aus. Aufgrund der Ableitungsmöglichkeit, der Intaktheit des Salzstockes und des Vorhandenseins von Steinsalz blieben die Salzstöcke Bunde, Lesum, Harsefeld übrig. Die Salzstöcke Heide und Geesthacht erschienen als bedingt geeignet.	A.T. S. 155
01.06.1965	Arbeiten zur Standortauswahl gehen von der GfK an die GSF, Betriebsabteilung Tieflagerung. Sie werden in Zusammenarbeit mit BfB weitergeführt. Die GFS kam im Gegensatz zur GfK zu einer anderen Bewertung der Salzstöcke: 1. Bunde, 2. Geesthacht, 3. Lesum und Meldorf, 4. Harsefeld, 5. Jemgum	A.T. S. 157
22.12.1966	BMwF ersucht BfB um weitere Einzeldarstellungen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle. Als weitere Standorte werden die Salzstöcke Oldenswort und Heide-Nord benannt.	A.T. S. 163
1974	KEWA-Studie im Auftrag des BMFT „Ermittlung mehrerer alternativer Standorte in der BRD für eine industrielle Kernbrennstoff-Wiederaufarbeitungsanlage". Das Gutachten (Grobabschätzung) schlug die Standorte Ahlden, Börger, Faßberg, Uchte und Lütau für weitere Untersuchungen vor.	A.T. S. 384
	Nach weiterem Ranking ergaben sich die drei am besten geeigneten Standorte in Niedersachsen: Börger (Wahn), Ahlden (Eilte, untersucht wurde Lichtenhorst), Faßberg (Dethlingen, untersucht wurde Weesen-Lutterloh). Der Standort Lütau in OH, Salzstock Julienlust schied aufgrund der Nähe zur DDR aus.	A.T. S. 387
Nov. 1975	KEWA-Projektleiter Issel trägt wesentliche Punkte der ersten industriellen WAA vor. favorisierter Standort Salzstock Wahn, ab 1976 Wesen-Lutterloh	A.T. S. 309-11

Dokumentation der im Verlauf der Endlagerdiskussion benannten Salzstöcke

Vier-Phasen-Auswahlprogramm der niedersächsischen Landesregierung A.T. S. 392/393

1. 140 Salzstöcke wurden überprüft, ob ein 3x4 km großes Standortgelände vorhanden war. Dies traf auf 23 Salzstöcke zu.
2. Auswahl nach fünf Kriterien (Lage, Besiedlungsdichte, Konkurrierende Nutzungsansprüche, Größe, Tieflage des Salzstockes). Es verblieben 13 Salzstöcke.
3. Kriterien nach raumordnerischen Empfehlungen der Innenministerkonferenz zur Standortauswahl bei Energieanlagen (u.a. Sicherheit und Umwelt, Besiedlungsdichte, Baugrund, Erdbeben, Flugverkehr, Meteorologie, radiologische Vorbelastung, Lage des Betriebsgeländes über dem Salzstock, Tieflage Wasserversorgung durch Grund- und Oberflächenwasser, Verkehrsanbindung Oberflächennutzung, Besiedlung, Eigentumsverhältnisse im unmittelbaren Standortbereich. Es verblieben die vier Salzstöcke Wahn, Lichtenhorst, Gorleben und Höfer.
4. Außer Gorleben wiesen die drei anderen jeweils ein Ausschlusskriterium auf.
Wahn: Standort im/am Gelände eines Schießübungsplatzes der Bundeswehr
Lichtenhorst: Grundwasservorranggebiet von Hannover
Höfer: mit 25 km² Ausdehnung als zu klein für die Anlage eines Endlagers erachtet.

Bis zur Benennung des Salzstocks Gorleben sind somit zwölf Salzstöcke und zwei flache Salzlagerstätten in die engere Auswahl gekommen.

1 Heide
2 Geesthacht
3 Harsefeld
4 Bunde/ Jemgum
5 Bremen-Lesum
6 Oldenswort
7 Wahn (Börger)
8 Lutterloh (Weesen-Lutterloh, Faßberg, Dettlingen)
9 Lichtenhorst (Ahlden, Eilte)
10 Uchte
11 Lüttau (Julienlust in S.H.)
12 Höfer

a Krummmendeich
b Leutesheim

1995 alternative Untersuchung und Bewertung von 41 norddeutschen Salzstrukturen durch die BGR

Abbildungen

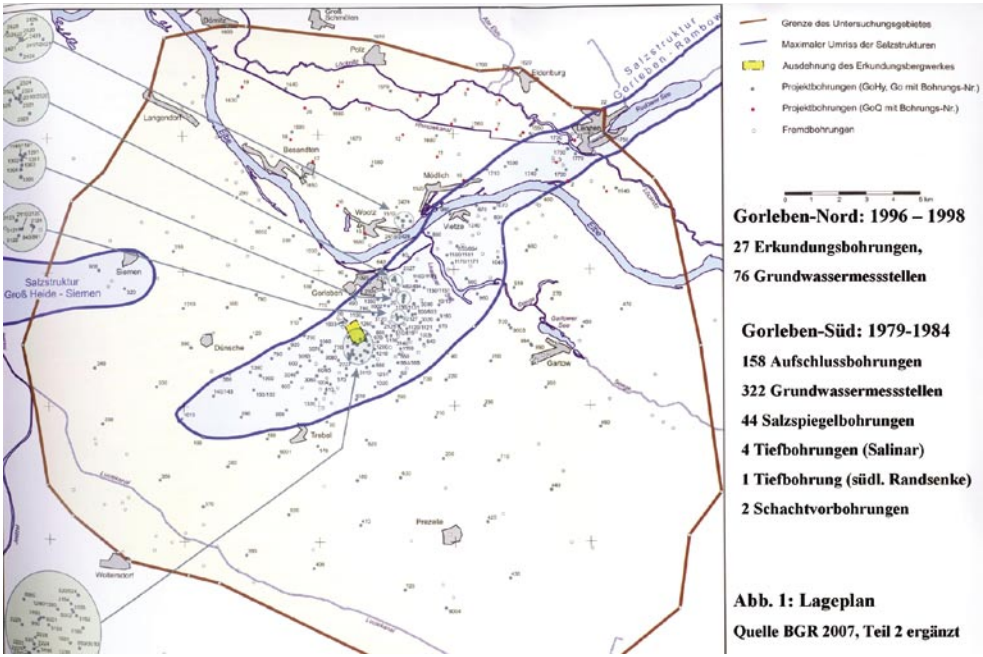
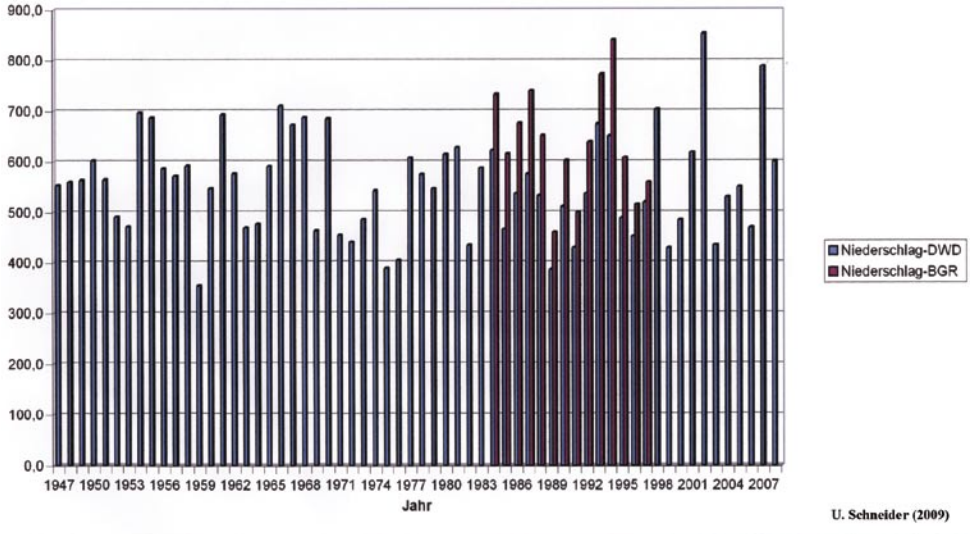


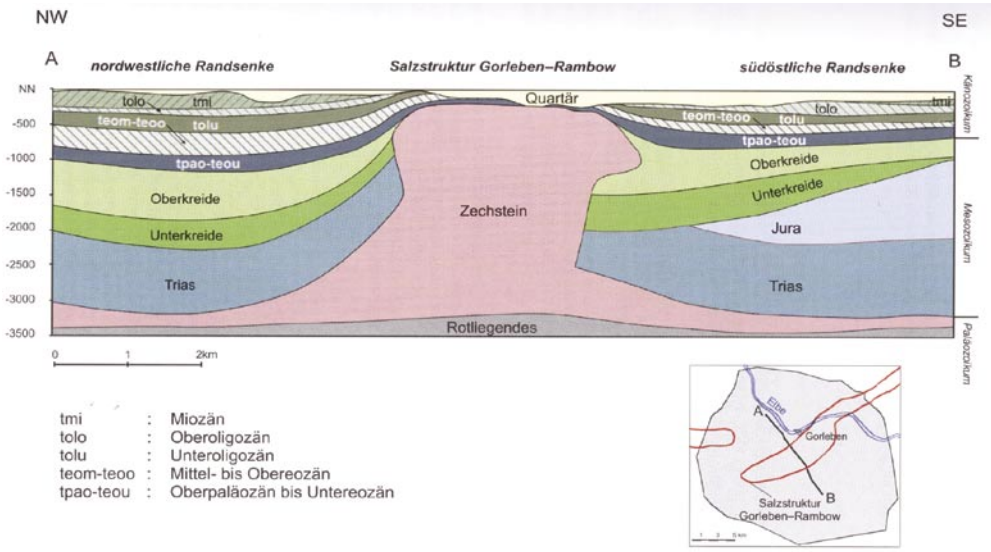
Abb. 1: Lageplan

Quelle BGR 2007, Teil 2 ergänzt

Abb. 2: Niederschlagsjahressummen in mm - DWD-Wetterstation Lüchow und Werte der BGR



U. Schneider (2009)



tmi : Miozän
tolo : Oberoligozän
tolu : Unteroligozän
teom-teoo : Mittel- bis Obereozän
tpao-teou : Oberpaläozän bis Untereozän

Abb. 3:

Quelle BGR 2007: Teil 2

Abb. 5: Vereinfachter geologischer Schnitt durch das Untersuchungsgebiet.

Abb. 4 Geologischer SW – NE Schnitt B – B`

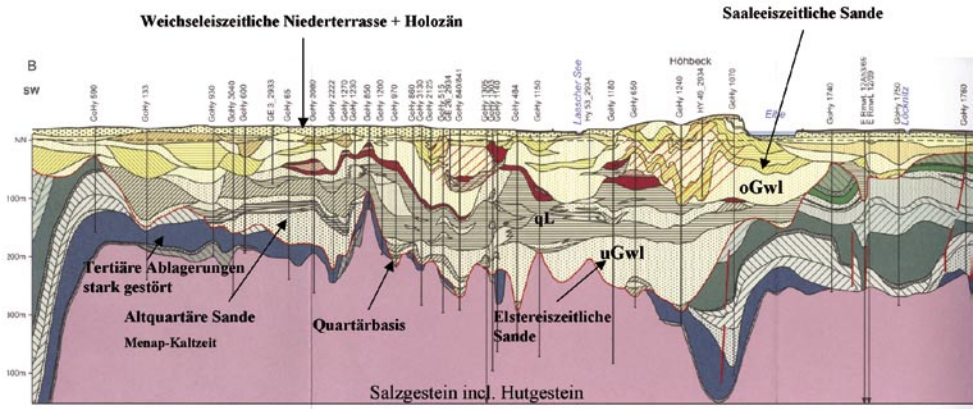


Abb. 9: Geologische Schnitte über dem Salzstock Gorleben (12,5-fach überhöht).

oGwl = oberer Grundwasserleiter

uGwl = unterer Grundwasserleiter

qL 0 Lauenburger-Ton-Komplex

Abb. 4:

Quelle BGR 2007, Teil 2 ergänzt

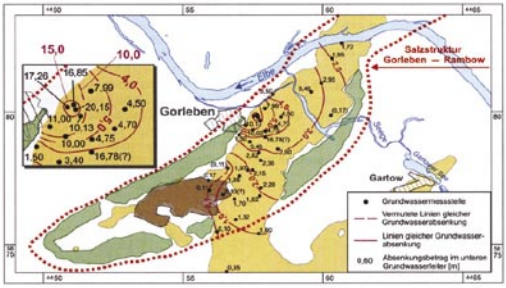


Abb. 13: Absenkung zum Ende der Pumpversuchsphase – Pumpversuch Meetschow.

PV Meetschow qe

90m_/h, Reichweite ca. 6 km Nord und Süderstreckung,

Absenkung macht sich auch in präelstereiszeitlicher Subrosionssenke bemerkbar.

Keine eindeutig messbaren Absenkungen im oberen Grundwasserleiter.

kf-Wert: 2 – 7x 10-5 m/s

Die im Hutgestein verfilterten Messstellen reagierten bei beiden Pumpversuchen mit einer deutlichen Absenkung

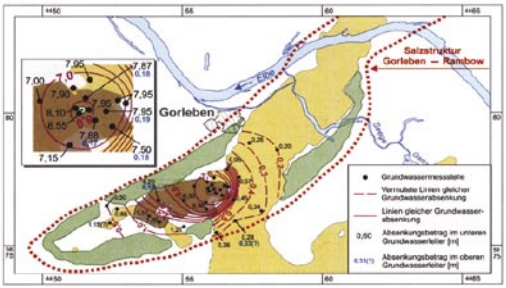


Abb. 14: Absenkung zum Ende der Pumpversuchsphase – Pumpversuch Gorlebener Tannen.

PV: Gorlebener Tannen qpe

99,5 m3/h, Reichweite nach SW ca. 4 km; Absenkungen auch in der Gorlebener Rinne und in den brunnennahen Messstellen im oberen Grundwasserleiter.

kf-Wert: 4 x 10-5 – 1,7 x 10-4 m/s

Abb. 5:

Quelle BGR 2007: Teil 1 ergänzt

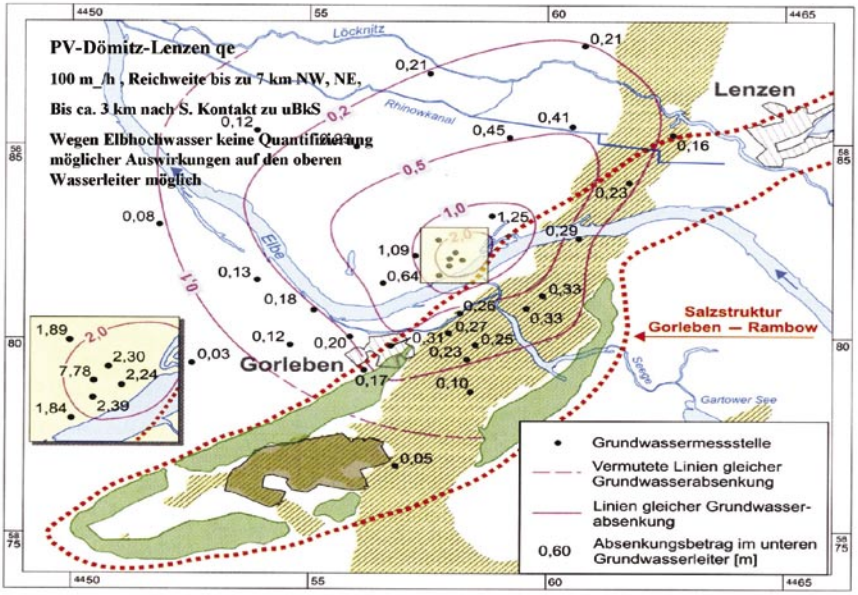


Abb. 15: Absenkung zum Ende der Pumpversuchsphase — Pumpversuch Dömitz–Lenzen.

Abb. 6:

Quelle BGR 2007: Teil 1 ergänzt

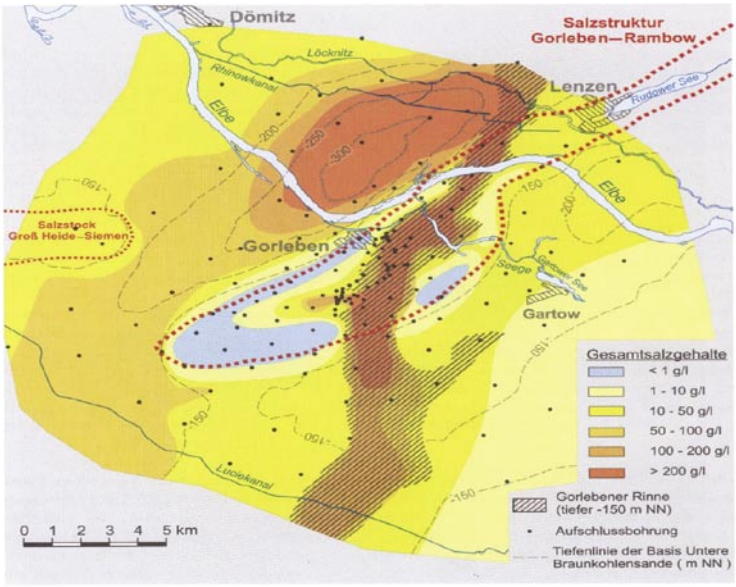


Abb. 26: Gesamtsalzgehalte der Grundwässer an der Basis des unteren Grundwasserleiters.

Abb. 7

Quelle BGR 2007, Teil 1

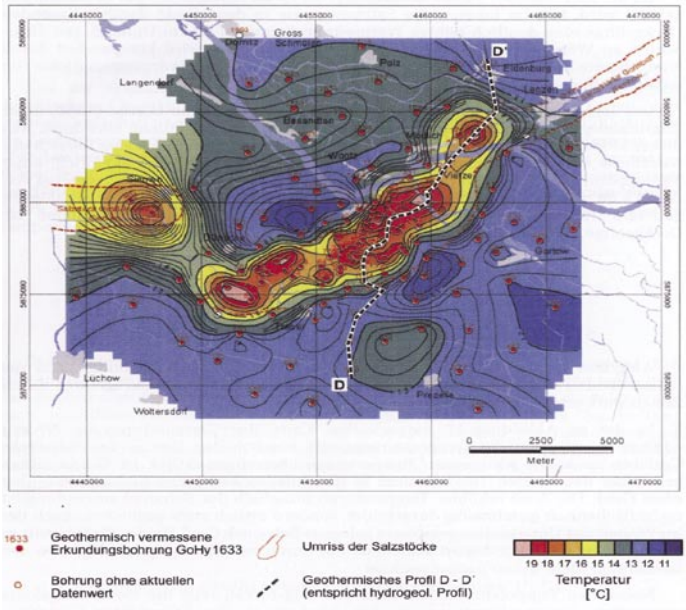
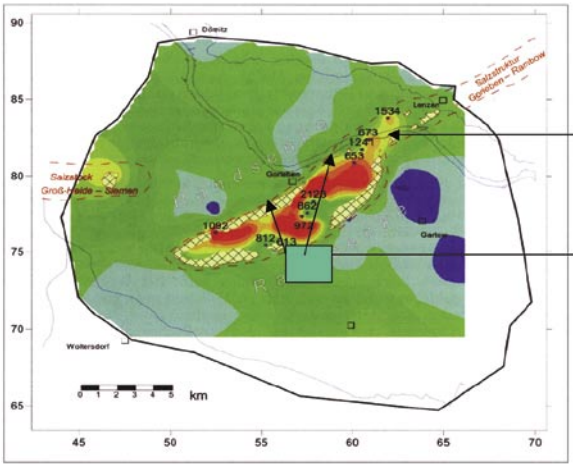


Abb. 17: Verbreitung der Grundwassertemperaturen in 150 m Tiefe.

Abb. 8:

Quelle BGR 2007, Teil 1



Grund für die Abschwächung der Temperaturen ist auch in diesem Fall die abwärts gerichtete Bewegung kalten Grundwassers unter der topografischen Hochlage des Höhbeck.

Zustrom kalten Grundwassers bedingt Erniedrigung des vertikalen, konduktiven Wärmestroms, d.h. hier bestehen hydraulische Verbindungen von oben nach unten.

Abb. 9

Quelle BGR 2007, Teil 1, ergänzt

Abb. 19: Karte der Wärmestromdichte.

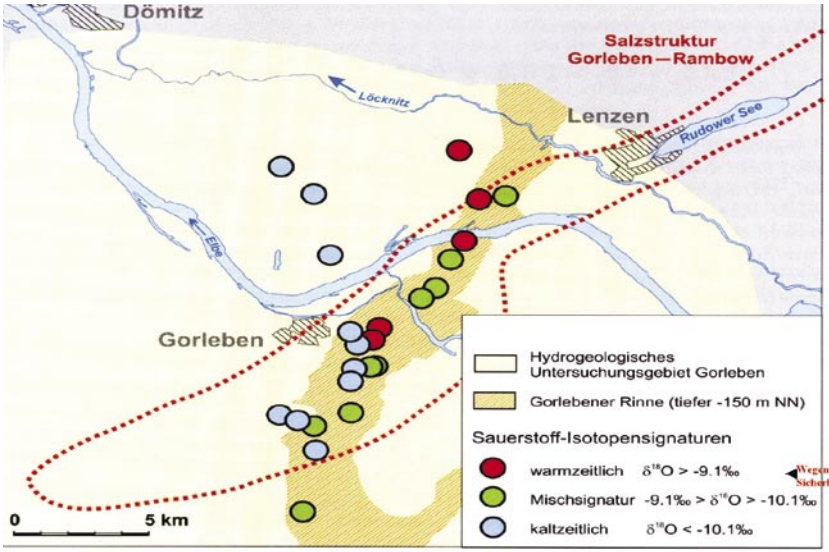


Abb. 10:

Abb. 37: Sauerstoff-Isotopensignaturen der Salzwässer mit ≥ 200 g/l Gesamtsalzgehalt.

Quelle BGR 2007, Teil 1 ergänzt

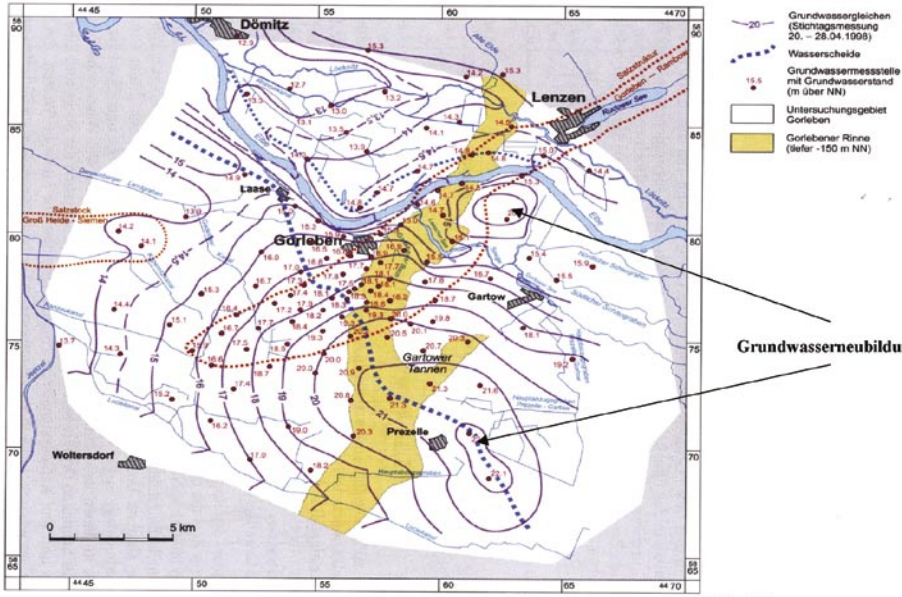


Abb. 43: Grundwassergleichen des oberflächennahen Grundwassers.

Abb. 11:

Quelle BGR 2007,Teil 1 ergänzt

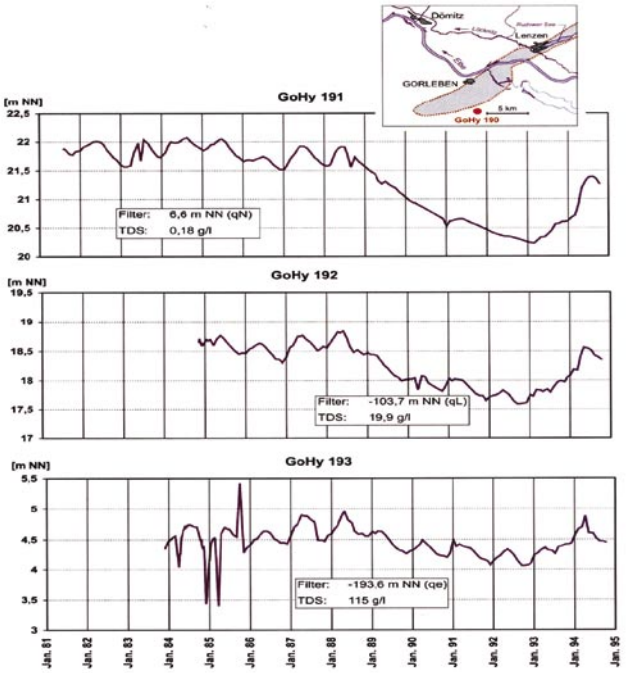
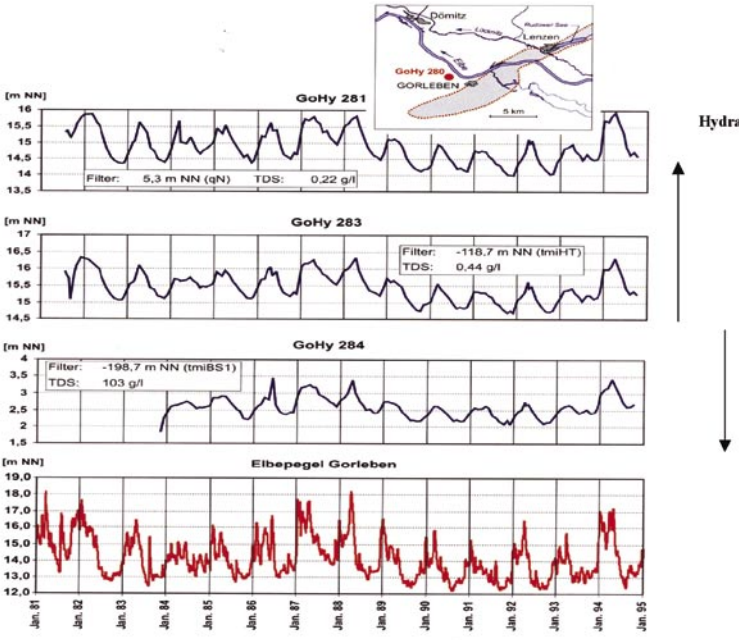


Abb. 41: Gangliniendiagramme der Messstellengruppe GoHy 190.

Hydraulischer Gradient

Abb. 12:

BGR 2007: Teil 1, ergänzt



Hydraulischer Gradient

Abb. 42: Vergleich der Ganglinien der Messstellengruppe GoHy 280 mit der Ganglinie des Elbepegels bei Gorleben.

Abb. 13:

BGR 2007: Teil 1, ergänzt

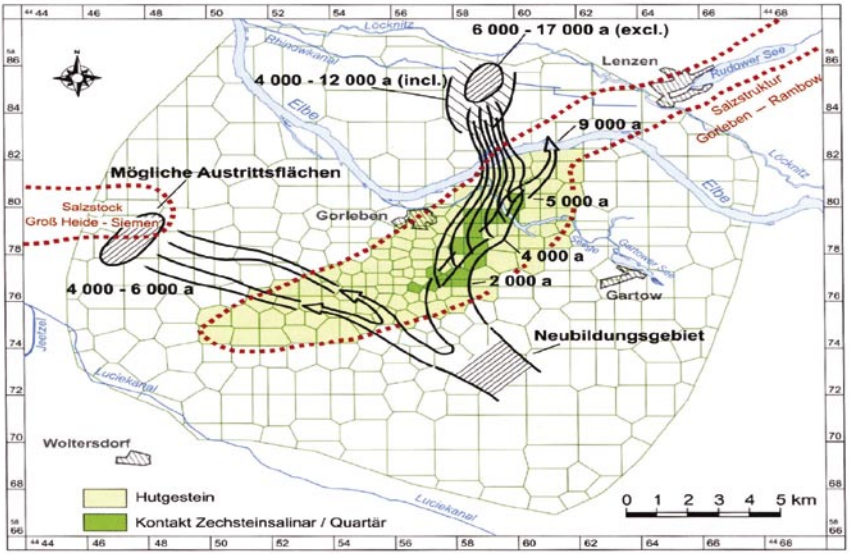


Abb. 47: Modellalter des Grundwassers im Rinnenbereich und Fließzeiten bis zum Erreichen der Biosphäre von Aufpunkten an der Aquiferbasis ohne (excl.) und mit (incl.) Berücksichtigung des Hutgesteins (aus ALBRECHT et al. 1991).

BGR 2007: Teil 1

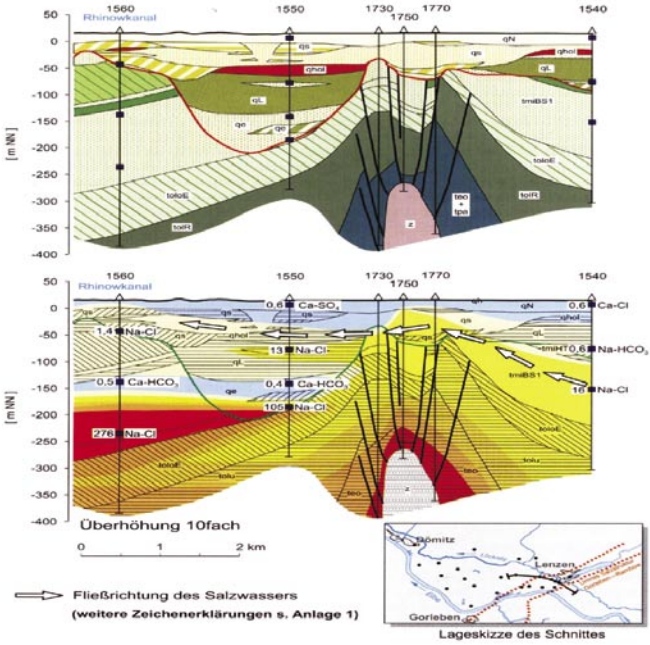
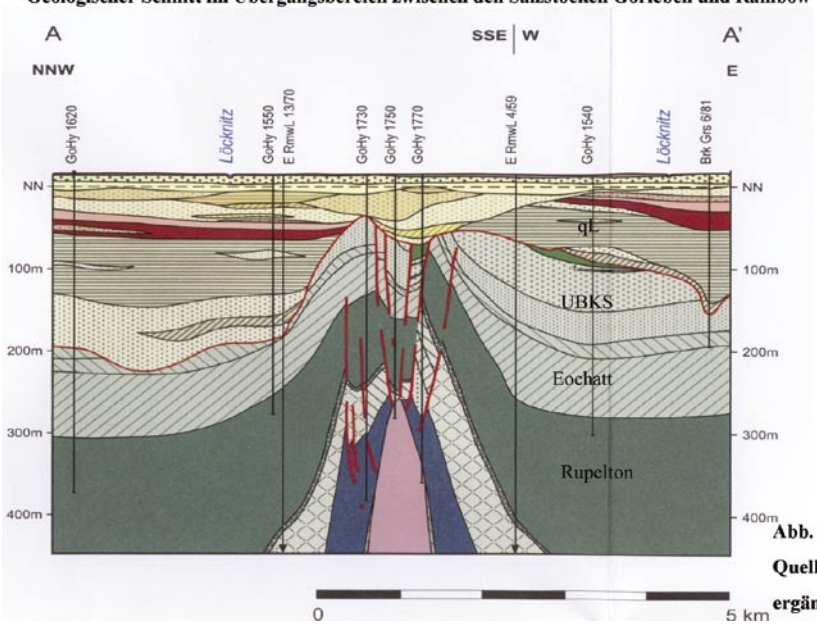


Abb. 58: Hydrostratigraphischer und hydrochemischer Vertikalschnitt durch die Salzstruktur Gorleben–Rambow im Bereich der Elbe-Löcknitz-Niederung (verändert nach KLINGE et al. 2001).

Abb. 15:

Quelle BGR 2007, Teil 1

Geologischer Schnitt im Übergangsbereich zwischen den Salzstöcken Gorleben und Rambow



Störungen nach Flachseismik

Abb. 16:

Quelle BGR 2007, Teil 2 ergänzt

Flachseismische Profilschnitte über der Salzstruktur Gorleben-Rambow

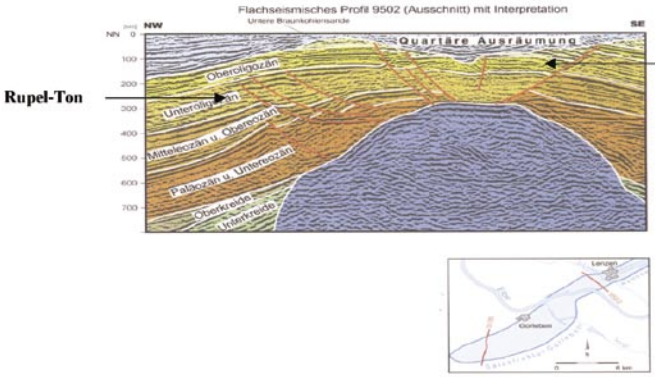


Abb. 17:

Quelle BGR 2007, Teil 2 ergänzt

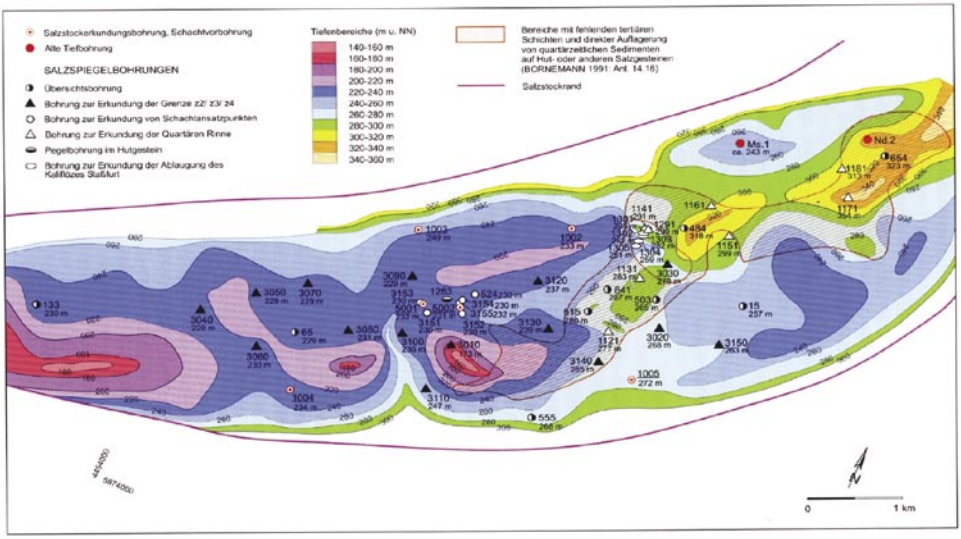


Abb. 11: Tiefenlinienplan des Salzspiegels im Salzstock Gorleben.

Abb. 18:

Quelle BGR 2008, Teil 3

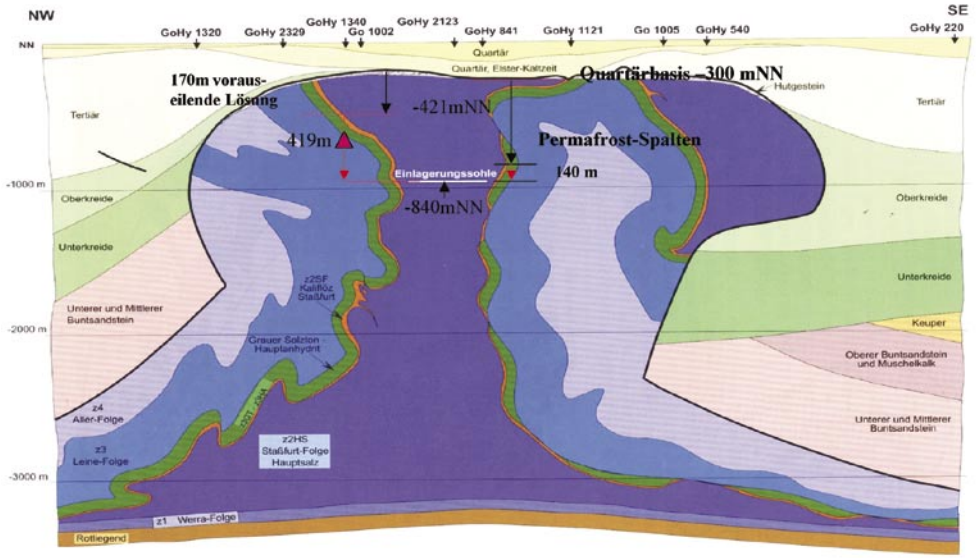


Abb. 36: Vereinfachter schematischer Schnitt durch den Salzstock Gorleben (Schnitt C – C'; aus Bornemann, 1991 – Anl. 23). Hauptanhydrit ist idealisiert als durchgehender Strang dargestellt.

BGR 2008, Teil 3 ergänzt

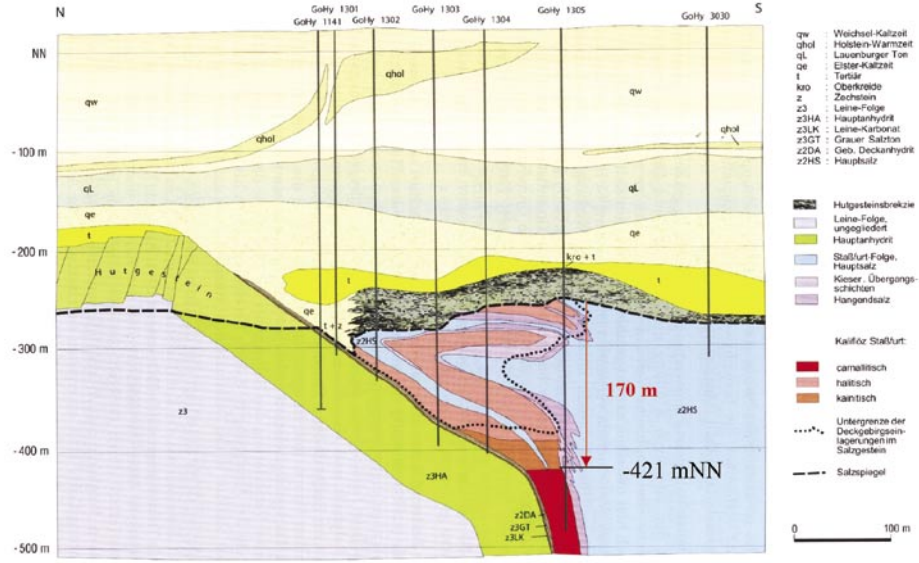


Abb. 3: Ablaugung des Kaliflözes Staßfurt im Bereich der Gorlebener Rinne am Beispiel der Salzspiegelbohrungen GoHy 1301 bis 1305 und GoHy 1141.

Abb. 20

Quelle BGR 2008, Teil 3ergänzt

DIE LINKE.
Fraktion
im Niedersächsischen Landtag

www.linksfraktion-niedersachsen.de