

DR. ULRICH KLEEMANN

Bewertung des Endlager- Standortes Gorleben

Geologische Probleme und offene Fragen im
Zusammenhang mit einer Vorläufigen
Sicherheitsanalyse Gorleben (VSG)

Regionalgeologie und Standorteignung

erstellt im Auftrag der
Rechtshilfe Gorleben e.V.

29.11.2011

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Anlass	3
2. Brüchiger Untergrund.....	4
3. Gasvorkommen im Rotliegenden	8
4. Eiszeitliche Rinnen im Deckgebirge.....	11
5. Neotektonische Bewegungen	14
6. Bewertung des Standortes Gorleben.....	18
Literatur- und Quellenverzeichnis.....	21
Abkürzungen.....	25
Geologische Zeittafel und Glossar	26
Abbildungsverzeichnis (Anlage)	28

Über den Autor:

Ulrich Kleemann studierte Geologie an der Ruhr-Universität Bochum mit den Schwerpunkten Strukturgeologie und Petrologie. 1991 promovierte er im Kontinentalen Tiefbohrprogramm (KTB), in dessen Verlauf er fundierte Kenntnisse in den Krustenaufbau und Einblicke in ein interdisziplinäres, wissenschaftliches Großprojekt gewinnen konnte. Praktische Erfahrungen in der Durchführung von Standortsuchverfahren und der Akzeptanzförderung von Abfalleinrichtungen sammelte er als Projektleiter bei einem Consulting-Unternehmen und als für die Abfallwirtschaft zuständiger Erster Kreisbeigeordneter eines Landkreises in Rheinland-Pfalz. Als Leiter des Fachbereichs Sicherheit nuklearer Entsorgung war er von 2004 bis 2010 im Bundesamt für Strahlenschutz u.a. für alle Endlagerprojekte des Bundes zuständig. Er leitete die Expertengruppe Schweizer Tiefenlager und die Arbeitsgruppe Optionenvergleich zur Asse. Ulrich Kleemann trat aus Überzeugung für ein ergebnisoffenes Standortauswahlverfahren ein und erarbeitete hierzu Konzepte für das Bundesumweltministerium. Als die Bundesregierung sich für eine Beendigung des Moratoriums und für eine Wiederaufnahme der Erkundungen des Salzstockes Gorleben-Rambow entschied, verließ Kleemann das Bundesamt. Seitdem ist er in Berlin als freiberuflicher Geologe tätig.

1. Einleitung und Anlass

Das Bundesumweltministerium (BMU) hat im März 2010 die Fortführung der untertägigen Erkundung des Salzstocks Gorleben veranlasst. Die daraufhin vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) als verantwortlichem Betreiber beantragte bergrechtliche Verlängerung des Rahmenbetriebsplans aus dem Jahre 1983 wurde vom niedersächsischen Umweltministerium (NMU) am 1.10.2010 genehmigt. Im Rahmen der Weitererkundung sind bis zum 30.9.2012 Erkundungsarbeiten in den Bereichen EB 1 und EB 3 vorgesehen.

Parallel dazu hat das BMU im August 2010 die Gesellschaft für Reaktorsicherheit Köln (GRS) mit der Durchführung einer Vorläufigen Sicherheitsanalyse für den Salzstock Gorleben (VSG) beauftragt. Unter der Leitung der GRS arbeiten in diesem Projekt die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), die DBE Technology (DBE Tec), das Institut für Gebirgsmechanik (IfG), das Institut für Sicherheitstechnologie (ISTec), das Karlsruher Institut für Technologie (KIT), die Nuclear Safety Engineering International (NSE) und die Technische Universität Clausthal (TUC) u.a. an der geologischen Standortbeschreibung und Langzeitprognose für den Zeitraum von 1 Mio. Jahren. Ziel des Vorhabens ist eine Aussage, *„ob überhaupt und gegebenenfalls unter welchen Bedingungen ein sicheres Endlager an diesem Standort möglich ist“* (BMU 2010). Mit einem Ergebnis wird Ende 2012 gerechnet.

Die VSG baut auf den bisherigen geowissenschaftlichen Erkundungsergebnissen auf, die federführend von der BGR erhoben und dokumentiert wurden. Die Ergebnisse der bisherigen übertägigen und untertägigen Erkundung wurden von der BGR in vier zusammenfassenden Publikationen (KLINGE et al. 2007, KÖTHE et al. 2007, BORNEMANN et al. 2008, BRÄUER et al. 2011) veröffentlicht. Darüber hinaus wurden zahlreiche weitere geowissenschaftliche Fachstellungen von der BGR erstellt, die in die VSG als Datengrundlage einfließen werden.

Der BGR fällt zudem nunmehr in der VSG nach dem Arbeitsprogramm vom 9.11.2010 (GRS 2010) die zentrale Rolle zu, die eigenen Erkundungsergebnisse in ein geologisches Standortmodell und eine Langzeitprognose zu überführen. Die Beurteilung der Qualität und Aussagesicherheit der Standortdaten sowie eine Würdigung der Ergebnisungewissheiten soll von der 2010 in Aachen gegründeten, bisher fachlich nicht aufgefallenen NSE in Zusammenarbeit mit der BGR vorgenommen werden. Externe, möglicherweise auch kritische Wissenschaftler werden an der Bearbeitung der VSG nicht beteiligt. Ob dies erst im Rahmen des beabsichtigten Peer-Review-Verfahrens geschehen soll, ist unklar.

Für die Frage, wie zuverlässig und belastbar Aussagen über eine Eignung des Salzstocks Gorleben möglich sind, spielt die geologische Datenbasis eine entscheidende Rolle. Die VSG wird auf einem Gerüst von zusammenfassenden Berichten aufbauen, denen nicht mehr das Maß von Annahmen und Interpretationen anzusehen ist, die möglicherweise in ihnen enthalten sind. Im Rahmen dieser Stellungnahme soll geprüft werden, wie gesichert die geologischen Faktenerhebungen sind und welche offenen Fragen weiterhin bestehen. Sind die getroffenen Schlussfolgerungen aus den Erkundungen fachlich zweifelsfrei begründet, oder stellen sie Interpretationen dar, die

hinterfragt werden müssen? Welche Fragen sind bisher unbeantwortet geblieben, obwohl sie vor einer Eignungsaussage geklärt werden müssten?

Zur Bearbeitung der Fragestellung wurden umfangreiche Literaturrecherchen durchgeführt, jedoch keine eigenen Geländearbeiten. Die Quellenangaben erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit, ermöglichen aber eine Beurteilung des Kenntnisstandes und der Belastbarkeit der in den Erkundungsberichten getroffenen Aussagen. In die Bewertung fließen zudem die Erfahrungen des Autors aus seiner Tätigkeit als ehemaliger, für die Endlagerung zuständiger Fachbereichsleiter mit ein.

Im Rahmen dieser Arbeit liegt der Schwerpunkt in der Bewertung des Standortes Gorleben unter regionalgeologischen Gesichtspunkten, wobei geprüft wird, ob der Standort sich in einem ergebnisoffenen Standortauswahlverfahren nach fachlich-wissenschaftlichen Kriterien aufdrängen würde oder schon auf dieser Basis ausscheiden müsste.

2. Brüchiger Untergrund

Vor Beginn der übertägigen Erkundungen hatte GRIMMEL (1979, 1980) auf eine „*mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit*“ unter dem Salzstock Gorleben-Rambow befindliche große Bruchstörung hingewiesen. Er hatte auf auffällige Lineationen von Flussläufen aufmerksam gemacht, die seiner Auffassung nach auf quartär reaktivierte tektonische Schwächezonen hindeuteten.

Hierauf erwiderte umgehend der BGR-Mitarbeiter W. Jaritz:

„Die reflexionsseismischen Untersuchungen haben gezeigt, dass der präsalinare Bereich der Salzstöcke Wustrow, Gorleben und Rambow ziemlich ruhig gebaut ist...Neuere seismische Untersuchungen hoher Qualität haben ebenfalls keine Störungen erkennen lassen. Damit ist erwiesen, dass Bruchstörungen, die mit den Störungen des Oberrheingrabens verglichen werden könnten, nicht vorhanden sind.“ (JARITZ 1980).

Die BGR hielt es demnach schon vor Beginn der Erkundungen für erwiesen, dass keine bedeutende Störung im Untergrund vorhanden ist. Dies war eine voreilige Einschätzung, wie sich inzwischen herausgestellt hat. Vielmehr befindet sich der Salzstock Gorleben in einem Kreuzungsbereich gleich mehrerer tektonischer Bruchzonen, deren Existenz inzwischen auch von den Geologen der BGR nicht mehr grundsätzlich bestritten wird.

In KÖTHER et al. (2007) verweist die BGR auf seismische Untersuchungen der Erdöl-Erdgasindustrie, die unterhalb der Salzstruktur Gorleben-Rambow eine „*markante, vom Weserbergland bis ins Wendland, d.h. in NNE-SSW-Richtung streichende Moho-Hochlage*“ ergab (Abb. 1a). An der östlichen Flanke dieser aufgewölbten Mantel-Kruste-Grenze (Mohorovičić-Diskontinuität = Moho) tritt die „*im Rotliegenden und Mesozoikum teilweise aktive Altmark-Schwelle*“ auf (KÖTHER et al. 2007). Als Grund für die Moho-Aufwölbung werden „*isostatische Ausgleichsbewegungen ab Oberrotliegendes, die im*

Zusammenhang mit tektonischen Ereignissen stehen“ angenommen (KÖTHER et al. 2007). Dies ist mit der Annahme eines ruhigen Untergrundes nicht in Einklang zu bringen.

Auch die Prä-Perm-Oberfläche (Abb. 1b), eine „markante Diskordanzfläche auf dem paläozoischen Grundgebirge“ (KÖTHER et al. 2007), weist eine „*auffallende Koinzidenz mit der Moho-Hochlage*“ auf und taucht von ca. 4.500 m Tiefe auf der Altmark-Schwelle im umlaufenden Streichen bis auf ca. 7.000 m Tiefe nach Norden ab (KÖTHER et al. 2007). Die permischen Sedimente des Rotliegenden und des Zechsteins, aus dem sich der Salzstock Gorleben-Rambow entwickelte, wurden also auf bzw. am Rande einer Aufwölbung des Prä-Permischen Untergrundes mit einem Höhenunterschied von alpinen Verhältnissen (ca. 2.500 m) abgelagert.

Über die Genese dieser Altmark-Schwelle entwickelt die BGR keine Vorstellungen. Aus regionalen Analogieschlüssen habe man jedoch keine Hinweise darauf, dass sie schon im Variszikum vorhanden gewesen sei (KÖTHER et al. 2007). Die Moho-Aufwölbung und damit die Altmark-Schwelle wären somit jüngeren Datums als die ältesten Perm-Sedimente. Im Rotliegenden war die Altmark-Schwelle durch andesitischen und rhyolithischen Vulkanismus geprägt, der für Subduktionszonen typisch ist. Hängt die Moho-Hochlage mit diesem Vulkanismus zusammen? Und wie ist der heutige Zustand zu erklären? Immerhin handelt es sich um eines der drei mächtigsten Eruptivzentren im Permokarbon des zentralen Nordeuropas (MARX et al. 1995).

Was ist hier passiert in einer geologischen Epoche, in der es zu einem gewaltigen und explosiven Vulkanismus und starken Hebungen mit Bildung alpiner Höhenunterschiede kam? Eine Betrachtung dieses Zeitraumes gewaltiger Umbrüche, in dem es zur Ablagerung der gasführenden Sedimente des Rotliegenden und des potenziellen Endlagerwirtsgesteins kam, kann nicht einfach - wie bei der BGR geschehen - übergangen werden.

Unterhalb der Prä-Perm-Oberfläche befindet sich zudem genau im Bereich des Salzstockes Gorleben-Rambow der Nordrand des variszischen Faltengürtels. Nach DROZDZEWSKI et. al (2009) bildet die Variszische Deformations Front (VDF) die nördliche Grenze des variszischen Faltengürtels mit einer 10 bis 20 km breiten Zone, die SW-NE „bis zur Elbe nördlich von Wittenberge“ verläuft. Die VDF ist gekennzeichnet durch intensive Faltung und flache, schaufelförmige Überschiebungszonen, die im Bereich des Salzstocks Gorleben-Rambow in Tiefen von 7.500 bis 9.000 m von der BGR vermutet werden (KÖTHER et al. 2007). Allerdings wirft dies einige Fragen auf.

Was befindet sich zwischen den Scherzonen und der 2.000 bis 3.000 m höher liegenden Prä-Perm-Oberfläche? Muss nicht das gesamte überschobene Gesteinspaket in der 10 bis 20 km breiten variszischen Gebirgsfront von Scherzonen und Brüchen durchsetzt sein? Besteht möglicherweise ein Zusammenhang mit der Entstehung oder Ausprägung der Altmark-Schwelle?

Die Kartendarstellung in KÖTHER et al. (2007) zeigt die Lage der VDF knapp nördlich des Salzstockes Gorleben-Rambow, die durch die Bohrung Pröttlin 1 belegt wird (Abb. 2a). Die VDF wird in dieser Abbildung durch eine südöstlich des Salzstocks Gorleben-Rambow verlaufende, Arendsee-Störung genannte Bruchstörung versetzt, die zu einem ganzen Bündel NE-SW-streichender tektonischer Linien gehört. Diese Störungen werden

jedoch textlich in KÖTHER et al. (2007) weder erwähnt noch zitiert. Obwohl es die BGR als „wahrscheinlich“ ansieht, „dass auch andere Richtungen, vor allem die NNE-SSW verlaufenden Störungen zur Modifizierung des abgeleiteten Strukturbildes beitragen können“, heißt es nur wenige Zeilen weiter, dass „bedeutsame Bruchstörungen weitgehend zu fehlen scheinen“ (KÖTHER et al. 2007). Das ist ein Widerspruch. Es kann nicht einerseits behauptet werden, dass Bruchstörungen fehlen, wenn an anderer Stelle solche Störungen als wahrscheinlich eingestuft werden.

HOFFMANN (1990) verweist auch auf die variszisch deformierten karbonischen Sedimente der 7000 m tiefen Forschungsbohrung Pröttlin 1 und veröffentlicht zwei tiefenseismische Profile (Abb. 2b), in denen die VDF und die Arendsee-Störung als bedeutende Störungszonen erkennbar sind. Diese Profile werden von der BGR jedoch an keiner Stelle erwähnt.

Nach FRANKE (1990) handelt es sich bei der Arendsee-Störung um eine bedeutende Störungszone, die vom Harz bis Südmecklenburg reicht und „qualitativ unterschiedliche Einheiten sowohl der Oberkruste als auch der Unterkruste bis zur 32-34 km tief liegenden Moho hinab trennt“. Auch der neuere „Geologische Atlas zur Geologie von Brandenburg“ (LGR 2004) zeigt auf der Karte der Zechsteinbasis ein Störungspaar, das parallel zur Salzstruktur Rambow verläuft. Warum wird diese Bruchstörung von der BGR nicht erwähnt und diskutiert? Könnte nicht wiederum ein Zusammenhang mit der Altmark-Schwelle bestehen?

Handelt es sich bei dieser Arendsee-Störung um die gleiche Bruchstörung, die nach DROZDZEWSKI et al (2009) etwas nördlich exakt durch den Salzstock Gorleben-Rambow verläuft (Abb. 3) und den durch GRIMMEL (1979) schon beobachteten Knick im Elbe-Verlauf markiert? Oder handelt es sich hierbei um den weiteren Salzwedel-Rambower Tiefenbruch, der durch die DDR-Erdöl- und Erdgasexplorationen als gesicherte Sockelstörung beschrieben wird (VEB EE 1971, FIEE 1972)? Wenn die BGR aus diesen Unterlagen die Moho-Hochlage entnommen hat, warum erwähnt sie dann nicht den Salzwedel-Rambower Tiefenbruch, der als Sockelstörung in der DDR als gesichert galt?

Die in DROZDZEWSKI et al. (2009) dargestellte Störung, der durch die DDR-Geologen beschriebene Salzwedel-Rambower Tiefenbruch sowie die in KÖTHER et al. (2007) zumindest kartographisch dargestellten Bruchstörungen sind deshalb von Bedeutung, weil von der BGR die Existenz einer Sockelstörung unter dem Salzstock Gorleben-Rambow stets bestritten wird. Die BGR weist allerdings selbst darauf hin, dass die Konstruktion der Zechstein-Basis-Karte, „insbesondere die Trassierung der Störungen“, durch Interpolation zwischen der Tiefenlinienkarte des Regionalen Geophysikalischen Kartenwerkes des VEB Geophysik Leipzig, der Tiefenlinienkarte der Rotliegend-Oberfläche für das Gebiet Altmark sowie dem Geotektonischen Atlas von NW-Deutschlands „mangels durchgehender Profile durch Interpolation“ erfolgte (KÖTHER et al. (2007). Mit anderen Worten: Die BGR-Aussagen zu den angeblich fehlenden Störungen beruhen lediglich auf Annahmen.

Die BGR beruft sich bei ihrer Aussage zum Fehlen einer Sockelstörung auf 1984 durchgeführte seismische Unterschießungen des Salzstocks Gorleben-Rambow (ZIRNGAST 1991). Sie lässt dabei außer Acht, dass tektonische Störungen durch solche

zweidimensionalen seismischen Untersuchungen gar nicht zweifelsfrei ausgeschlossen werden können. Dies haben nicht zuletzt die Erfahrungen der Kontinentalen Tiefbohrung Windischeschenbach (KTB) gezeigt. In diesem Fall waren nach der 2D-Seismik zunächst flachlagernde Schichten erwartet worden, die dann über 9 km in einer zuvor nicht erkannten, mehrfach gestapelten Bruchstörung steilstanden (EMMERMANN & JUNG 1997). Eine Sockelstörung unter dem Salzstock Gorleben-Rambow kann also nicht ausgeschlossen werden. Im Gegenteil: Der Salzwedel-Rambower Tiefenbruch scheint diese Sockelstörung zu sein, die von der BGR – bewusst oder aus Unvermögen - schlicht übersehen wurde.

Der schon 1980 im Hinblick auf die nichttektonische Genese des Salzstocks Gorleben-Rambow festgelegte BGR-Mitarbeiter JARITZ schreibt 1992 in einer zusammenfassenden Arbeit über die Entstehung von Salzstöcken in NW-Deutschland, dass der Beginn der Strukturentwicklung bei *„etwa zwei Drittel der über 300 Salzstrukturen durch einen tektonischen Anstoß“* erfolgte. *„Auch beim Diapirismus zahlreicher Salzstrukturen“* des restlichen Drittels *„gibt es zahlreiche Hinweise auf tektonische Mitwirkung“* (JARITZ 1992). Lediglich bei den Salzstrukturen, *„bei denen ein tektonischer Anstoß ausgeschlossen werden konnte“*- also nach JARITZ (1980) der Salzstock Gorleben-Rambow - *„muss ein halokinetischer Durchbruch angenommen werden“* (JARITZ 1992). Mit anderen Worten: Eine tektonische Entstehung der Salzstrukturen NW-Deutschlands ist die Regel.

Ausgerechnet der Salzstock Gorleben-Rambow mit seiner auffälligen Längs-erstreckung, die nach GRIMMEL (1980) eindeutig für eine tektonische Entstehung spricht, soll die Ausnahme bilden, wie die BGR auf Basis zweidimensionaler seismischer Untersuchungen behauptet? Viele der tektonischen Strukturen konnten im Zusammenhang mit der Erdöl- und Erdgasexploration erst durch verbesserte 3D-Seismik erkannt werden (KOSINOWSKI et al. 1997). So zeigt BETZ (1989) eindrucksvoll, wie nur durch eine verfeinerte 3D-Seismik ein enges, steilstehendes Störungsmuster und damit verbundene Rohstoff-Fallen nachgewiesen werden konnten (Abb. 4a+b). Eine solche moderne geophysikalische Technik ist jedoch in Gorleben bisher nicht angewendet worden. Damit fehlt auch der Beweis für die von der BGR vertretene These, es gäbe keine Sockelstörung und der Salzstock Gorleben-Rambow wäre eine Ausnahme von der tektonischen Regel.

Noch eine weitere Bruchlinie durchquert den Salzstock Gorleben-Rambow, in diesem Fall in NW-SE-Richtung. Hierbei handelt es sich um einen Teil der von DROZDZEWSKI et al. (2009) als Zentral Europäische Scherzone bezeichneten bedeutenden Scherzone des Variszikums, an der die Variszische Deformations Front (VDF) von dem NE-SW-Streichen in ein NW-SE-Streichen umschwenkt. Dieses Umschwenken beginnt im Bereich des Salzstockes Gorleben-Rambow, was an Hand der rezenten Hauptspannungen später verdeutlicht wird.

Das „Elbe-Lineament“ als Teil der Zentral Europäischen Scherzone verläuft mit der sogenannten Hamburg-Krakau-Linie (u.a. KÖTHE et al. 2007) oder Unterelbe-Linie direkt durch den Salzstock Gorleben-Rambow (Abb. 5a). Hierbei handelt es sich um eine durch klare geophysikalische Unterschiede gekennzeichnete bedeutende vorvariszische Grenze von sogenannten Terranes, d.h. Mikroplatten, die im Variszikum als Scherzone reaktiviert wurden. Dies wird auch von der BGR (KÖTHE et al. 2007) so bestätigt.

Das Elbe-Lineament ist gekennzeichnet durch Gravitationsunterschiede, starke magnetische Anomalien (BOSUM & WONIK 1991) und ein abruptes Abreißen eines nördlich der Elbe gelegenen „*mid-crustal low resistivity layers*“ (EREGT 1990, zitiert in KAISER et al. 2005). Nach DOHR (1989) ist bei dieser Tiefenstörung zudem ein Versatz der Moho erkennbar (Abb. 5b). Warum gibt es an dieser alten Störungszone so zahlreiche geophysikalische Veränderungen, und wie sind diese zu interpretieren? Ist das ein ruhiger Untergrund?

Die zentrale Frage jedoch, ob nämlich diese in der Erdgeschichte bedeutende Scherzone (FRANKE & HOFFMANN 1999a, 1999b) auch neotektonisch aktiv war, ist oder zukünftig sein wird, kann auch von der BGR nicht abschließend beantwortet werden. KÖTHER et al. (2007) vermerken hierzu:

„Wie die sicherlich unvollständige Aufzählung einiger geologischer Kriterien aus der paläo- bis känozoischen Entwicklung zeigt, sind die Postmitätsbeziehungen zur Untereibe-Linie insgesamt wechselhaft und teilweise widersprüchlich. Da ihre Ursachen, zu denen insbesondere tektonische, epirogenetische und halokinetische Faktoren zählen, noch wenig erforscht sind und sich zeitlich wie räumlich überlagern können, sind weitreichende Schlussfolgerungen über eine neotektonische Aktivität der Untereibe-Linie mit großen Unsicherheiten behaftet.“ (KÖTHER et al. 2007)

Mit anderen Worten: **Eine neotektonische Aktivität kann mit dem jetzigen Kenntnisstand nicht ausgeschlossen werden!**

Ergebnisse:

- Der Untergrund ist keineswegs ruhig.
- Er befindet sich auf einer Erdmantel-Aufwölbung mit unbekannter Ursache.
- Die Erdmantel-Aufwölbung ist tektonisch begrenzt.
- Der Salzstock befindet sich am Kreuzungspunkt mehrerer bedeutender Störungen.
- Es gibt ein NE-SW-streichendes Störungssystem durch den Salzstock.
- Ein tektonischer Ursprung des Salzstocks ist nicht auszuschließen.
- Eine Sockelstörung ist wahrscheinlich.
- Das Elbe-Lineament durchquert in NW-SE-Richtung den Salzstock.
- Auch die BGR kann dort neotektonische Bewegungen nicht ausschließen.

3. Gasvorkommen im Rotliegenden

Am 25.7.1969 verursachte eine Erdgas-Explorationsbohrung im Salzstock Gorleben-Rambow in Lenzen (damals DDR) auf der östlichen Elb-Seite eine Explosion, bei der es einen Todesfall und mehrere Verletzte gab. Südlich des Wendlandes und damit nur rund 15 km in südwestlicher Verlängerung vom Salzstock Gorleben-Rambow entfernt, befand sich in der Altmark um Salzwedel/Peckensen die größte Erdgaslagerstätte der DDR, aus der zwischen 1968 und 1989 rund 172 Mrd. cbm Erdgas gefördert worden waren (TEUMER et al. 1990). Nach KLEDITZSCH (2004a) handelt es sich hierbei einschließlich des Lagerstättenteils von Wustrow (Wendland) „als nach Groningen zweitgrößter

Lagerstätte des Zentraleuropäischen Beckens (Südliches Permbecken) – um einen sogenannten `Giant`“.

Zum Zeitpunkt der Entscheidung der niedersächsischen Landesregierung im Februar 1977 waren die Gasfunde den Fachämtern auf Landes- und Bundeseite sehr wohl bekannt. So heißt es in der Kabinettsvorlage des Niedersächsischen Wirtschaftsministerium vom 4.2.1977:

„Eine Standortvorauswahl könnte beim gegenwärtigen Kenntnisstand zwischen den Standorten Gorleben und Lichtenhorst getroffen werden. Dabei ist zum Standort Gorleben darauf hinzuweisen, dass durch die möglichen Gefährdungen durch das Erdgasvorkommen umfangreichere Untersuchungen erforderlich sind.“ (NMW 1977)

Ein anderer Standort (vermutlich Faßberg) war bei der zuvor durchgeführten Untersuchung von drei ausgewählten Standorten durch die KEWA (KEWA 1974) bereits genau wegen eines Erdgasvorkommens abgelehnt worden (RSK 1976).

Vor der Entscheidung Albrechts für den Standort Gorleben war die Gefährdung durch das Erdgasvorkommen bekannt. Nach der Entscheidung wurde das Problem allerdings nicht mehr erwähnt. Auch die zunächst für erforderlich gehaltenen umfangreichen Untersuchungen fanden nicht statt. Jedenfalls wurde hierzu nichts veröffentlicht. Sollte die Gasproblematik nicht an die bundesrepublikanische Öffentlichkeit dringen? Oder war es nur ein - allerdings schweres – Versäumnis der handelnden Fachbehörden BGR und NLFB?

Die BGR macht nur kleine Andeutungen zu den sogenannten Altmark-Impulsen, ohne diese näher zu erläutern oder einzuordnen. Obwohl sich im *„Oberrotliegenden II das paläogeographische Bild grundlegend ändert“* (KÖTHE et al. 2007) und sich die Altmark-Schwelle im Rotliegenden bemerkbar macht, findet sich in den BGR-Veröffentlichungen keine Beschreibung der Paläogeographie und der Lithologie des Rotliegenden und damit der Gasspeichergesteine. Die markante Paläogeographie des Rotliegenden mit der Altmark-Schwelle (Abb. 6a) und den durch die tektonischen Grenzen (VDF und Arendsee-Störung) bedingten Senken (Abb. 6b) wurde bereits durch HOFFMANN (1990) beschrieben, ohne von der BGR zur Kenntnis genommen zu werden. Die ausführlichen Beschreibungen zu den Erdgasspeichergesteinen des Oberrotliegenden in der Altmark durch KLEDITZSCH (2004a, 2004b) werden ebenfalls nicht erwähnt.

Die Lagerstätte Salzwedel/Peckensen auf der Altmark-Schwelle ist nach KLEDITZSCH (2004a) wie die meisten der NW- und NE-deutschen Rotliegend-Erdgasvorkommen in Strandsanden der Elbe-Subgruppe (vorrangig Hannover-Formation) angesiedelt. Als Abdeck-Gestein („Falle“) fungieren die Karbonatgesteine und Salze des Zechsteins. Das Erdgas ist durch Mobilisierung von Kohlenstoff-haltigen Muttergesteinen des Karbons, also des variszischen Grundgebirges, in das Speichergestein des Rotliegenden eingedrungen.

Für die Mobilisierung spielen die variszischen Bruchstörungen, also die Variszische Deformations Front (VDF) und das Störungssystem der Arendsee-Störung, vermutlich aber auch der Salzwedel-Rambower Tiefenbruch als Sockelstörung eine bedeutende Rolle. In KLEDITZSCH (2004b) ist daher auch das schon zuvor erwähnte Störungsmuster abgebildet (Abb. 7a), das den Untergrund des Salzstocks Gorleben-Rambow umgibt bzw.

durchzieht. Der Autor bezieht sich auf zahlreiche Quellen, die dieses Störungsmuster belegen. Auch in jüngsten Veröffentlichungen der Erdgasindustrie zu der aktuellen Bohrung Lüchow Z1 in den Salzstock Wustrow (GDF Suez 2010) ist ein solches Störungssystem eingezeichnet. Dieses alte Bruchmuster hat somit für den Salzstock Gorleben-Rambow eine sehr große Bedeutung, da es mögliche Wegsamkeiten für das Erdgas begünstigt.

KLEDITZSCH (2004a) untersuchte neben dem schon bekannten Speichergestein der Elbe-Subgruppe weitere Sandsteinformationen, die als potenzielle Erdgas-Speichergesteine fungieren könnten. Dabei konzentrierte er sich insbesondere auf äolische (durch Wind transportierte) Sandsteinformationen, die an tektonischen Grabenbrüchen (u.a. der schon erwähnten Arendsee-Störung) am Rande der Altmark-Schwelle vorkommen. Er wurde fündig in Sandsteinen der Mirow- und Parchim-Formationen, die über entsprechende Nutzporositäten verfügen.

Bemerkenswert ist die Darstellung der Mächtigkeitsverteilung der Mirow-Formation, die unter dem Salzstock Gorleben-Rambow mit Mächtigkeiten zwischen 50 und 75 m bis an das östliche Elbeufer nördlich von Lenzen reicht (Abb. 7b). Das bedeutet: Ein potenziell zur Gasspeicherung geeignetes Gestein reicht unter dem Salzstock hindurch. Im Zusammenhang mit diesem Fund wäre eine umfangreiche Untersuchung und Diskussion durch die BGR zu erwarten gewesen. Aber dieses Thema wird komplett ausgelassen. Warum?

„Bei beiden Vorbohrungen zu den Schächten für das Erkundungsbergwerk Gorleben wurden Gase angetroffen. Die Bohrmannschaft der ersten Vorbohrung bekam im Juni 1982 das Gasleck zwischen 870 und 940 m Tiefe nur schwer in den Griff. Nachdem auch in der zweiten Schachtvorbohrung und einer weiteren Tiefbohrung mehrfach Gas angetroffen wurde, wurden die Schachtvorbohrungen nach Warnung durch das zuständige Bergamt Celle oberhalb der geplanten Tiefe von 1000 Metern gestoppt. Das Bergamt Celle befürchtete, dass bei erneutem Antreffen von Gas eine Abdichtung kaum möglich sein würde.“ (BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN 2011)

SCHNEIDER & EDLER (2010) schließen hieraus, dass die zahlreichen Gasfunde in den Vorbohrungen und dem Erkundungsbereich 1 aus einem Erdgasvorkommen im Rotliegenden in einer Tiefe von 3070 bis 3650 herrühren, das in Verbindung mit den Gasvorkommen von Lenzen und Salzwedel steht. Durch die einzulagernden hochradioaktiven Abfälle könnte es zu einer Mobilisierung dieser Gase und damit zu Gefährdungen der Sicherheit des Endlagers kommen.

Solange ein solcher Fall nicht zweifelsfrei auszuschließen ist, kann keine Eignungsaussage für ein Endlager ausgesprochen werden. Die BGR hat sich bisher nicht zu dieser Fragestellung geäußert. Es besteht damit eine zentrale offene Frage, die vermutlich auch nicht geklärt werden kann.

Welche Rolle spielt die Verbreitung des Rotliegend-Salinars, dessen südliche Erstreckung auffallend mit der nördlichen Grenze der Gasfunde im Rotliegenden korreliert (SCHRÖDER 1989, KOSINOWSKI et al. 1997)? Warum verläuft diese für die Erdgasspeicherung offenbar bedeutende Grenzlinie in SCHRÖDER (1989) am Salzstock

Gorleben-Rambow vorbei (Abb. 8), während sie acht Jahre später auf einer von Mitarbeitern des NLFb erstellten Karte (KOSINOWSKI et al. 1997) südlich des Erdgasfeldes von Wustrow nach SE abknickt (Abb. 9) und den Salzstock Gorleben-Rambow nicht erreicht? Lagen hier neue, nicht publizierte Erkenntnisse vor? Oder sollte das Erdgasthema von Gorleben ferngehalten werden?

Ergebnisse:

- Die Gasexplosion von Lenzen erfolgte unterhalb des Salzstocks.
- Südlich des Salzstocks gibt es ein weiteres großes Erdgasvorkommen.
- Das Erdgas befindet sich in Rotliegend-Sandsteinen.
- Gasführende Rotliegend-Sandsteine verlaufen auch unter dem Salzstock.
- Ein Erdgas-Vorkommen unter dem Erkundungsbereich ist zu vermuten.
- Untersuchungen wurden bisher nicht durchgeführt oder nicht veröffentlicht.

4. Eiszeitliche Rinnen im Deckgebirge

Zum Zeitpunkt der Entscheidung der niedersächsischen Landesregierung für den Standort Gorleben im Februar 1977 waren die Geologen der BGR und des NLFb der Auffassung, dass über dem Salzstock Gorleben intakte Deckschichten vorhanden sind, die einen direkten Kontakt mit wasserführenden Schichten verhindern. So behauptete im April 1978 Prof. Helmut Venzlaff, der sowohl leitender Mitarbeiter der BGR als auch Mitglied des Atomforums war, bei einem Vortrag auf der Reaktortagung seines Verbandes:

„Abgesehen von einer Auflösung des oberen Teils in der Kreidezeit und einer geringfügigen Ausdehnung im Tertiär, liegt er heute noch fast in der gleichen Form vor, in der er vor 100 Mio. Jahren aufgestiegen ist. Um dieses Zeitmaß richtig einzuschätzen, ist es gut, sich daran zu erinnern, dass man den geschichtlichen Menschen erst seit einigen 10.000 Jahren kennt, der Mensch als Art vielleicht 1 Mio. Jahre alt ist. Klingt es da nicht vermessen, wenn der Mensch die Stabilität dieses Salzgebirges anzweifelt, das 100 mal älter ist als seine eigene Art und in dieser langen Zeit Meeresüberflutungen, Erdbeben, Gebirgsbildungen, Vulkanismus und Eiszeiten überstanden hat?“ (VENZLAFF 1978).

Als erstmals Wissenschaftler eine quartärzeitliche Rinnenbildung im Bereich des Salzstocks Gorleben postulierten und die Problematik der Subrosion erwähnten (ORTLAM & VIERHUFF 1978, GRIMMEL 1979, MAUTHE 1979), führte dies zu heftigen Abwehrreaktionen der BGR und des im gleichen Haus angesiedelten Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung (NLFb).

In vier Stellungnahmen wurden insbesondere die Thesen GRIMMELS (1979, 1980) von Mitarbeitern der beiden Ämter (Jaritz, Leydecker von der BGR, Meyer, Hofrichter vom NLFb) als unbegründet zurückgewiesen. So behauptete u. a. der Direktor und Professor im NLFb, Klaus-Dieter Meyer:

„Großflächige Ablaugung wie beim Salzstock Rambow ist bei Gorleben wegen der weitgehenden Abdeckung durch bindige, für Wasser schwer durchlässige tertiäre und quartäre Sedimente auszuschließen.“ (MEYER 1980).

Hinzuweisen ist auf die für Geologen wiederum ungewöhnlich eindeutige Aussage „auszuschließen“, die sich als extrem kurzlebig erweisen sollte.

Nur ein Jahr später wurde nämlich 1981 durch die von dem Kieler Quartärgeologen Prof. Klaus Duphorn geleiteten übertägigen Erkundungen und Kartierungen - abweichend von den vorherigen Aussagen der BGR - eine elsterzeitliche Rinne („Gorlebener Rinne“) nachgewiesen (präsentiert bei der Infoveranstaltung am 15. und 16.5.1981 in Lüchow, veröffentlicht in DUPHORN 1984).

Zwar wurde nach der Präsentation dieser Ergebnisse in den zuständigen Ministerien intensiv darüber diskutiert, ob die bisherige Formel „keine begründeten Zweifel“ aufrecht erhalten werden könne. Auch von der BGR wurde nun eine fehlende Deckgebirgsbarriere anerkannt, jedoch daraus keine negativen Schlüsse für die Frage der Eignung des Salzstocks gezogen:

„Die Tatsache, dass man bei der Erforschung des Salzstocks Verhältnisse gefunden hat, die bei der Vorauswahl noch nicht bekannt waren, ist allein kein Kriterium, ihm die Eignungshöflichkeit abzusprechen.“ (VENZLAFF 1983).

Duphorn wurde eine „Überinterpretation der Situation im Quartär“ vorgeworfen, die aus dessen vermeintlicher Rolle als „Spezialist für Quartärgeologie“ herrühre (VENZLAFF 1983).

Der Direktor für Chemische Technologie am Kernforschungszentrum Jülich, Prof. Merz, beschrieb sogar zunächst in einem vom BMFT herausgegebenen Sonderdruck theoretisch die wichtige Funktion der Deckgebirgsbarriere (MERZ 1982), die als Migrationsbarriere fungieren und die Rückhaltung durch Sorption und Ionenaustausch sicherstellen sollte, um dann dennoch zu schlussfolgern, dass die Existenz der eiszeitlichen Rinne nicht gegen eine Eignung des Gorlebener Salzstocks spreche. Die Argumentation zur Eignungshöflichkeit gründet seitdem auf der Aussage der BGR, dass ein mächtiges Wirtsgestein Salz für den Langzeitsicherheitsnachweis ausreichend sei. Durch rechnerischen Nachweis soll auf diese Weise belegt werden, dass das Deckgebirge auch durch Verdünnung im Grundwasser eine Barrierewirkung entfalten könne (z.B. durch Professor für Energietechnik und Mitglied des Atomforums MEMMERT 1996).

Seit dem Vorliegen der Kartier-Ergebnisse Duphorns 1981 ist die Existenz der sogenannten Gorlebener Rinne Stand der Wissenschaft. Es gilt somit als erwiesen, dass das Deckgebirge keine nennenswerte Barrierewirkung entfalten kann. Für einen Nachweis der Langzeitsicherheit für den Zeitraum von 1 Mio. Jahren ist jedoch auch eine Aussage darüber zu treffen, ob und mit welchem Ausmaß vergleichbare oder sogar tiefreichendere glazial bedingte Rinnenbildungen in der Zukunft auftreten können.

Der in der BGR für Szenarienanalysen im Referat Langzeitsicherheit zuständige Dr. Siegfried KELLER kommt im Rahmen seiner Betrachtungen über die zu erwartenden klimatischen Veränderungen zu dem Ergebnis, dass im Zeitraum von 1 Mio. Jahren bis zu

zehn weitere Eiszeiten zu erwarten sind (KELLER 2011). Zwar räumt er ein, dass die in der Elster-Eiszeit entstandenen und teilweise bis 500 m tiefen Rinnen mit NNE-SSW im westlichen und NE-SW im östlichen Norddeutschland deutliche Vorzugsrichtungen aufweisen. Gleichwohl seien bevorzugte Orte für die Rinnenbildung nicht zu erkennen (KELLER 2009). Dass nur während der Elster-Eiszeit übertiefe Rinnen gebildet wurden, muss nach KELLER (2009) von verschiedenen Randbedingungen abhängen, die ihm jedoch unbekannt seien. KELLER (2009) rechnet daher damit, dass im Zeitraum von 1 Mio. Jahren bei zehn zu erwarteten Eiszeiten mindestens eine zur Bildung von übertiefen Rinnen führt.

Dabei kommt er zu dem verblüffenden Schluss:

„Dies bedeutet, dass analog zum Salzstock Gorleben auch die Deckgebirge von möglichen anderen Standorten entsprechend erosiv durch zukünftige Rinnenbildungen verändert werden können. Die Verhältnisse im Deckgebirge des Salzstocks Gorleben sind somit eine vorweg genommene mögliche Zukunft für andere Salz- und Tongestein-Standorte. Die Existenz einer eiszeitlichen Rinne im Deckgebirge eines möglichen Endlagerstandortes in Norddeutschland stellt somit keine Besonderheit dar, sondern muss im Rahmen von Langzeitsicherheitsbetrachtungen zur Deckgebirgsentwicklung aufgrund der angenommenen zukünftigen klimatischen Entwicklung als gegeben unterstellt werden.“ (KELLER 2009)

Ist das Fehlen eines dichten Deckgebirges womöglich sogar eine positive Standorteigenschaft, da hier ja schon nach KELLER (2009) im Gegensatz zu anderen Standorten die Robustheit ganz im Sinne der Prognose VENZLAFFs (1978) erwiesen sei? Gibt es tatsächlich keine Unterschiede hinsichtlich der potenziellen Gefährdung durch Rinnenbildungen? Ist es nicht dennoch ein qualitativer Unterschied, ob ein dichtes Deckgebirge erst abgeräumt werden muss oder schon verschwunden ist? Alle diese wichtigen Fragen werden von KELLER (2009) nicht diskutiert. Vielmehr ist zu erwarten, dass die Thesen KELLERS ohne kritische Überprüfung in die VSG Einzug halten werden.

KELLER zitiert zwar die Arbeit von STACKEBRANDT et al. (2001) über das internationale IGCP-Projekt 346 „Neogeodynamica Baltica“ und verwendet daraus eine Übersichtskarte von Norddeutschland, allerdings nur um die 0-m-Linie der Quartärbasis darzustellen. Nicht zitiert und diskutiert werden jedoch die späteren Arbeiten des inzwischen pensionierten Leiters des Brandenburgischen Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe (STACKEBRANDT 2004, 2005, 2009). Auch die darauf beruhende Kartendarstellung in BfS (2005) wurde von KELLER (2009) nicht erwähnt. Diese Karten zeigen, dass einige Salzstöcke im westlichen Norddeutschland nicht von der Rinnenbildung betroffen sind, im Sinne KELLERS also ihre Ausräumung noch vor sich haben (Abb. 10).

Wahrscheinlicher ist jedoch, dass diese Standorte (u.a. die von der KEWA 1974 in die engere Wahl gezogenen Standorte Wahn und Lichtenhorst) auch in der Zukunft ihre schützenden Deckschichten behalten werden. Denn STACKEBRANDT (2004, 2009) liefert eine Erklärung für die auffällige Vorzugsrichtung und -lage der Rinnen, die nach

seiner Auffassung nicht zufällig sein können. Er sieht ihre Genese durch zwei Haupteisströme in einem störungskontrollierten Bereich bedingt (Abb. 11):

„Für die übertiefe Ausprägung kommt der neotektonisch abgesenkten Mitteleuropäischen Senkungszone eine besondere Bedeutung zu. Deren unterkompaktierte und wassergesättigte Sedimente gerieten durch das sie überfahrende Inlandeis unter hydrostatischen Überdruck....Die übertiefen Tunneltäler sind daher das Ergebnis von endo- und exogenen landschaftsgenetischen Prozessen.“ (STACKEBRANDT 2009)

Stackebrandts Karte der mitteleuropäischen Senkungszone (Abb. 12a, STACKEBRANDT 2009) zeigt eine auffällige Parallelität zum schon erwähnten Elbe-Lineament. Nach STACKEBRANDT (2004) orientiert sich das Flussnetz Norddeutschlands an dieser Mitteleuropäischen Senkungszone. Auf die Aspekte der Neotektonik soll später noch näher eingegangen werden.

Das in der Geologie grundlegende Aktualitätsprinzip besagt, dass in der Gegenwart beobachtete Phänomene auch in der Vergangenheit stattgefunden haben und mit großer Wahrscheinlichkeit in der Zukunft zu erwarten sind. Wenn in einer bestimmten Region bevorzugt Eisrinnen beobachtet wurden, ist es eher unwahrscheinlich, dass bei späteren Eiszeiten andere Regionen bevorzugt werden. Für ein solch abweichendes Verhalten müssten konkrete Fakten oder Modelle vorgelegt werden, die für die Zukunft eine andere Entwicklung als in der Vergangenheit erwarten lassen. KELLER (2009) hat jedoch weder ein Modell noch sonstige Fakten vorgelegt, die seine These stützen könnten. Zudem unterblieb eine Diskussion der für die Fragestellung bedeutenden Arbeiten von STACKEBRANDT (2004) durch KELLER (2009), was diese Arbeit im Hinblick auf die Szenarienanalyse für den Langzeitsicherheitsnachweis wissenschaftlich wertlos macht.

Ergebnisse:

- Die Lage der eiszeitlichen Rinnen ist nicht zufällig, wie von der BGR behauptet.
- Übertiefe elsterzeitliche Rinnen haben eine bevorzugte Lage und Richtung.
- Die Zone der Rinnenbildung zeigt eine auffallende Parallelität zum Elbe-Lineament.
- Es gibt Salzstöcke in Norddeutschland, deren schützende Deckschichten nicht von Rinnen zerstört wurden.
- Es gibt keinen Beleg, dass die bisher verschonten Bereiche zukünftig von Rinnenbildung betroffen sein werden.
- Bei einem Standortauswahlverfahren müssten Bereiche gewählt werden, in denen die Wahrscheinlichkeit zukünftiger Rinnenbildung gering ist.
- Die Gorlebener Rinne ist ein eindeutiger Standortnachteil.

5. Neotektonische Bewegungen

In Kap. 2. wurde bereits darauf hingewiesen, dass neotektonische Bewegungen am regionalgeologisch bedeutsamen Elbe-Lineament nicht auszuschließen sind. Gleichwohl

kommt die BGR in ihrem jüngsten zusammenfassenden Bericht über die geotechnischen Explorationsarbeiten (BRÄUER et al. 2011) zu dem Ergebnis, dass der Standort Gorleben sowohl makro- als auch mikroseismisch als ruhige Zone zu bezeichnen sei. Sie trifft daraufhin die weitreichende Aussage, die Erkundungsergebnisse würden nicht gegen eine Eignung des Salzstocks Gorleben sprechen.

Eine exemplarisch durchgeführte statistische Auswertung des Literaturverzeichnisses in BRÄUER et al. (2011) erbrachte, dass von insgesamt 73 zitierten Quellen allein 50 von der BGR selbst stammen. Es handelt sich dabei zum überwiegenden Teil um unveröffentlichte Berichte aus den Erkundungsarbeiten und eigene Veröffentlichungen hierzu. Zusammen mit den zitierten vier BfS-Erkundungsberichten beziehen sich somit knapp drei Viertel (73 %) der Zitate auf bei der Erkundung entstandene eigene Quellen. Dies wäre insoweit nicht zu beanstanden, wenn nur die durchgeführten Arbeiten beschrieben und deren Ergebnisse ohne Wertung dargestellt werden sollen.

Für weitreichende Wertungen und Interpretationen, insbesondere zur Eignung des Standortes, müssen diese Ergebnisse jedoch in einen größeren wissenschaftlichen Rahmen gestellt werden, was in BRÄUER et al. (2011) unterblieb. Bei den restlichen zitierten 19 externen Quellen (27 % der gesamten Zitate) handelt es sich um einen Tagungsband, fünf Fachbücher und 13 Fachartikel aus Zeitschriften, davon jedoch nur zwei aus internationalen Fachzeitschriften. Keine dieser externen Publikationen ist jünger als drei Jahre. Nur zwei der externen Publikationen sind jünger als fünf Jahre (2007, 2008), drei sind zwischen fünf und zehn Jahren alt. Vierzehn (74 % der externen Publikationen) der Publikationen sind über zehn Jahre alt, sieben davon sogar älter als 20 Jahre. Gerade auf dem Gebiet des Kriechens von Gesteinen gibt es eine Vielzahl jüngerer Fachliteratur, sodass man sich nicht auf einen Artikel von Griggs aus dem Jahr 1939 stützen muss, den BRÄUER et al. (2011) noch 72 Jahre später als Beleg heranziehen.

Die jüngere Fachdiskussion z.B. in den international renommierten Fachzeitschriften „Tectonophysics“, „Journal of Geophysical Research“, „Nature“, „Natural Hazards“ oder „International Journal of Geosciences“ scheint an der BGR komplett vorbei gegangen zu sein. Eine solche mangelnde Aktualität und Quellenlage erfüllt nicht die Mindestanforderungen an wissenschaftliches Arbeiten. Die Aussagen zur Eignung sind damit wissenschaftlich wertlos.

Von Seiten des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe (LBGR) des Landes Brandenburg wurde wiederholt auf die neotektonische Aktivität in der Mitteleuropäischen Senkungszone hingewiesen, ohne dass dies von der BGR auch nur erwähnt wurde. Auf Basis des internationalen geowissenschaftlichen Projektes IGCP 346 „Neogeodynamica Baltica“ kommt STACKEBRANDT (2004) zu dem Ergebnis, dass das *„neogeodynamische Krustenverhalten Norddeutschlands entscheidend vom tektonischen Blockbau aus vorhergehenden Beanspruchungen gesteuert“* wird. Dabei spielt das bereits beschriebene Elbe-Lineament eine herausragende Rolle.

Der Referenzhorizont der Rupelbasis charakterisiert nach STACKEBRANDT (2004)

„für die neotektonische Beanspruchungsetappe eine sich trogartig einsenkende Zone mit NW-SE-Verlauf und Isolinienscharungen an den ebenfalls NW-SE

streichenden Flanken, die sich von der Nordsee bis nach Südpolen erstreckt.“ (Abb. 12b). „Syntemporäre Sedimentation bzw. Sedimentumverteilung haben die neotektonische Einsenkung weitgehend ausgeglichen... Sie sorgten jedoch für die Existenz von unterkompaktierten Sedimenten in dieser Aktivitätszone, die die späteren landschaftsgestaltenden Überprägungen wesentlich erleichterten.“ (STACKEBRANDT 2004).

Hierin sieht er die Ursache für die schon erwähnte Rinnenbildung der Elstereiszeit, die entlang der Mitteleuropäischen Senkungszone angeordnet sind (s. voriges Kap.). Nicht nur die Lage der elstereiszeitlichen Rinnen, sondern auch das heutige Flussnetz korrespondiert auffallend mit dieser Mitteleuropäischen Senkungszone (STACKEBRANDT 2004).

STACKEBRANDT (2004) sieht als Zukunftsszenario eine Überflutung der Mitteleuropäischen Senkungszone von der Nordsee bis nach Südpolen in den nächsten 500.000 Jahren und schließt mit der Feststellung, dass der Nachweis neotektonisch aktiver Zonen von gesellschaftlicher Relevanz sei.

„Gebiete mit erhöhtem Gefährdungspotenzial bedürfen im Sinne der Daseinsvorsorge für die Gesellschaft einer besonderen Beachtung (Gründung sensibler Bauwerke, Schutz vor Hochflutereignissen, Salzwasserinjektionen aus dem Untergrund in das Süßwasserstockwerk).“ (STACKEBRANDT 2004).

Er ergänzt seine Ausführungen 2005 um zwei geologische Beispiele, an denen die neotektonischen Bewegungen verdeutlicht werden, und wiederholt, dass

„geologische Zukunftsszenarien die fortgesetzte Einsenkung der quer durch Brandenburg verlaufenden Mitteleuropäischen Senkungszone zu berücksichtigen haben. In Verbindung mit Aktivitäten in den benachbarten Regionen lässt sich eine überregionale tektonische Anregung aus ESE, dem östlichen Alpen-Karpaten-Tektogen ableiten“ (STACKEBRANDT 2005).

Warum interessiert sich die BGR nicht für solche Aussagen eines Landesamtes, die doch für die Langzeitsicherheit eines Endlagers relevant sein können? Ist ein Endlager kein sensibles Bauwerk?

PALMER & GROSS (1999) analysierten die rezenten, horizontalen Hauptspannungen im Subsalinar Nordostdeutschlands. Sie stellten dabei in der Altmark unterhalb des Salinars andere Hauptspannungsrichtungen (NNE-SSW) als oberhalb (NW-SE) fest. Sie führen dies zum Einen auf eine begünstigende entkoppelnde Wirkung des Salzes zurück und zum Anderen im Wesentlichen darauf, dass in Annäherung an die Osteuropäische Tafel etwa ab der Elbe das Spannungsfeld die in Mitteleuropa typische NW-SE-Richtung verlässt.

In den letzten Jahren wurden in wissenschaftlichen Fachzeitschriften zahlreiche Arbeiten zur geophysikalischen Modellierung des Norddeutschen Beckens auch von deutschen Forschern publiziert, die die Rolle der isostatischen Nachbewegungen der Eiszeit neu bewerteten. KAISER et al. 2005 führten Finite-Element-Modellierungen der Spannungsverhältnisse im Norddeutschen Becken durch und kombinierten diese mit GPS-Daten (Abb. 13a). Sie kamen zu dem Ergebnis, dass an dem bestehenden

Störungssystem Verformungsraten in der Größenordnung von 0,01 bis 0,2 mm pro Jahr auftreten und der postglaziale „rebound“ neben der alpinen Kompression einen dominanten Einfluss auf die Spannungsverteilung in Norddeutschland hat. Bestehende Störungszonen neigen dabei als Schwächezonen zur Reaktivierung (Abb. 13b).

Das grundsätzlich in Nordeuropa vorherrschende NW-SE-gerichtete Spannungsfeld wandelt sich im Nordosten Deutschlands, wo Abschiebungen und Blattverschiebungen eine größere Rolle spielen (KAISER et al. 2005, Abb. 14a). Diese Ergebnisse werden bestätigt durch CACACE et al. (2008), die an Hand von Finite-Element-Modellierungen ebenfalls ein Umschwenken der horizontalen Hauptspannungen im Bereich des Elbe-Lineaments feststellen (Abb. 14b).

Auf die Bedeutung der Reaktivierung von Störungszonen durch glazial bedingte Auflasten weisen HAMPEL et al. (2010a, 2010b) sowie zuvor schon HETZEL & HAMPEL (2005) und HAMPEL & HETZEL (2006) hin. An Hand von Finite-Element-Modellierungen konnte ein signifikanter Einfluss von Lasten auf der Erdoberfläche auf Verformungsraten an jungen Störungszonen nachgewiesen werden. LIN (2005) konnte sogar nachweisen, dass auch geringe vertikale Spannungen in Höhe von ca. 0,47 MPa Erdbeben auslösen können - hier ausgelöst durch das Taipei 101, dem mit 508 m höchsten Gebäude der Welt. Bei einer Eiszeit wird jedoch ein deutlich größerer Überlagerungsdruck erwartet.

Diese neueren Publikationen, die allesamt nicht von der BGR gewürdigt wurden, zeigen auf, dass die glazialen Auswirkungen bei Langzeitsicherheitsbetrachtungen nicht außer Acht gelassen werden dürfen. Der Salzstock Gorleben-Rambow befindet sich im Bereich zweier alter Störungssysteme. Insbesondere das Elbe-Lineament hat als tektonische Naht in der Erdgeschichte eine große Rolle gespielt und steht im Verdacht, neotektonisch als Senkungszone auch rezent aktiv zu sein.

Auch wenn aktuell keine nennenswerten Erdbeben durch BRÄUER et al. (2011) festgestellt wurden, bedeutet dies nicht, dass eine ruhige Zone vorliegt. Vielmehr muss bei einer Langzeitsicherheitsanalyse eine mögliche Reaktivierung des Elbe-Lineamentes, des Salzwedel-Rambower Tiefenbruchs oder der Arendsee-Störung bei Eisauflasten betrachtet werden. Entsprechende Untersuchungen zu glazialinduzierten Erdbeben und ihren Auswirkungen wurden jedoch bisher nicht durchgeführt.

Ergebnisse:

- Der Salzstock befindet sich in der Mitteleuropäischen Senkungszone.
- Diese verläuft parallel zum Elbe-Lineament.
- Es gibt zahlreiche Hinweise auf neotektonische Bewegungen.
- Das rezente Spannungsfeld zeigt ein Umschwenken am Elbe-Lineament.
- Alte Störungszonen werden bevorzugt bei Eisauflast reaktiviert.
- Untersuchungen zu glazial induzierten Erdbeben fehlen.

6. Bewertung des Standortes Gorleben

Die Literaturrecherche ergab, dass auch nach den langjährigen Erkundungsarbeiten der BGR das Verständnis über den geologischen Bau des Salzstocks Gorleben-Rambow mangelhaft ist. Zahlreiche schwerwiegende Fragen sind bisher nicht geklärt. Über den Aufbau des tieferen Untergrundes liegen zwar etliche Befunde vor, jedoch fehlt es an modellhaften Vorstellungen über deren Genese.

Warum existiert unter dem Salzstock eine Aufwölbung der Kruste-Mantel-Grenze, und wie sind die aus der Seismik sich ergebenden tektonischen Grenzen dieser Anomalie zu erklären? Warum gibt es mehrere geophysikalische Veränderungen an dem Elbe-Lineament? Wie stark ist der variszische Untergrund durch die häufig auftretenden Störungen zerrüttet? Wie kam es zum Aufstieg der Altmark-Schwelle über der Moho-Aufwölbung, und welche Konsequenzen für den geologischen Bau ergaben sich hieraus? Wie war die Paläogeographie und Paläotektonik im Rotliegenden, und wie ist die Verbreitung gasführender Schichten unter dem Salzstock? Wie oft wurden die Tiefenstörungen des NW-SE-streichenden Elbe-Lineamentes sowie der NE-SW-streichenden anderen Störungen (u.a. Arendsee-Störung) in der Erdgeschichte reaktiviert? Wie erklärt sich die Konzentration der eiszeitlichen Rinnen in dieser Senkungszone? Warum erfolgte das Umklappen des Erdspannungsfeldes genau im Bereich des Salzstocks, und wie zuverlässig sind Zukunftsprognosen über die neotektonische Entwicklung?

Alle diese Fragen werden von der BGR nicht gestellt oder umgangen. Schon früh hatten sich führende Mitarbeiter der BGR, allen voran Venzlaff und Jaritz, dahingehend festgelegt, dass der Salzstock eignungs­höffig sei. Es gäbe keine Erkenntnisse, die gegen eine Eignung sprechen. Wissenschaftlern, die das bezweifelten, wurde durch die BGR schnell Unwissenschaftlichkeit vorgeworfen, oft ohne dies hinreichend zu begründen.

Die Publikationen der BGR zu den Erkundungsergebnissen zeigen nun, dass systematisch alle wissenschaftlichen Ergebnisse ausgeblendet werden, die den Salzstock Gorleben in Frage stellen könnten. So wurde trotz langjähriger Kenntnis des Gasvorkommens unter dem Salzstock keine Untersuchung zum Ausschluss eines solchen durchgeführt. Das für diese Frage wichtige Rotliegende wird in KÖTHE et al. (2007) nur dünn abgehandelt, wesentliche Fakten bleiben unerwähnt. Die Aussagen zum Thema Sockelstörung beruhen auf veralteten seismischen Profilen und sind daher wertlos. Sämtliche neueren Publikationen zur Neotektonik und zum rezenten Spannungsfeld werden ignoriert.

Insgesamt zeigen die Arbeiten der BGR ein erschreckendes Nichtbeachten jüngerer Fachliteratur. Sie entsprechen nicht dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik. In besonderem Maße trifft dies auf die Arbeiten von KELLER (2009) und BRÄUER et al. (2011) zu.

Tatsächlich müsste der Standort Gorleben schon auf Basis der Literaturlage bei einem ergebnisoffenen Auswahlverfahren in einer frühen Phase aus dem geologischen

Vergleich herausfallen. Und so verwundert es auch nicht, dass Gorleben schon beim Standortauswahlverfahren der KEWA (1974) nicht in der engeren Wahl war.

Nach dem heutigen Kenntnisstand führen auch ohne untertägige Erkundung folgende Argumente zu einer kritischen Bewertung des Standortes:

Nach AKEND sind aktive tektonische Störungszonen auszuschließen (AKEND 2002). Tektonische Störungen sind nach AKEND (2002) u.a. Verwerfungen, an denen „nachweislich oder mit großer Wahrscheinlichkeit im Zeitraum Rupel bis heute Bewegungen stattgefunden haben“. „Als Indikatoren für diese tektonischen Bewegungen gelten neben heute an der Erdoberfläche messbaren und im Gesteinsverband erkennbaren Versatzbeträgen auch Mächtigtkeitsunterschiede beidseits der Störungen in gleichen Formationen“ (AKEND 2002). Genau auf solche Veränderungen seit dem Rupel hatte STACKEBRANDT (2004) hingewiesen, ohne dass dies von der BGR gewürdigt wurde. Die Senkungen seit Rupel werden zwar in BORNEMANN et al. (2008) als Beleg gegen eine Hebung herangezogen, es wird jedoch keinerlei Bezug zu möglichen neotektonischen Bewegungen hergestellt.

Die Bedeutung des Elbe-Lineamentes ist lange Zeit verkannt worden. Es handelt sich um eine in vorvariszischer Zeit angelegte bedeutende Störungszone, die im Verlauf der Erdgeschichte immer wieder aktiviert wurde und auch im heutigen Spannungsfeld Norddeutschlands eine Rolle spielt. Auf diesem Elbe-Lineament befinden sich sowohl die quartären Rinnen angeordnet als auch die Mitteleuropäische Senkungszone mit dem daran ausgerichteten Flussnetz. Es ist zu erwarten, dass es bei Warmzeiten zu einer Meerestransgression in dieser Senkungszone kommt. Bei Eiszeiten kann es zu einer Reaktivierung der alten Bruchstruktur auf Grund der Eislast kommen. Zudem ist die Genese und Bedeutung der Altmark-Schwelle mit der Aufwölbung der Mantel-Kruste-Grenze überhaupt nicht bekannt. Ob Zusammenhänge zu der tektonischen Aktivität, zu vulkanischen Ereignissen oder Eis-isostatischen Prozessen bestehen ist ungeklärt.

Mit großer Wahrscheinlichkeit existiert eine aktive Störungszone. Nach den Kriterien des AKEND wäre damit der Salzstock Gorleben-Rambow als Endlagerstandort ausgeschlossen.

Unter dem Zechsteinsalz des Salzstockes Gorleben-Rambow befinden sich Rotliegend-Sandsteine, die südlich und nördlich vom Standort Gorleben gasführend sind. Unabhängig von der Frage der Vermeidung menschlichen Eindringens zur Aufsuchung von Rohstoffen stellt ein solches Gasvorkommen eine potenzielle Gefährdung des Endlagers dar, die es zu vermeiden gilt. Dies war schon 1976 bei einem anderen Standort als kritischer Punkt gesehen worden. Vor einer Eignungsaussage wäre ein sicherer Ausschluss eines Gasvorkommens unter dem potenziellen Endlager erforderlich. Ob ein solcher Ausschluss mit vertretbarem Aufwand überhaupt geführt werden kann, ist mehr als fraglich. Es reicht nicht aus, bei den im Salzstock gefundenen Gasen eine Isolation im Salzstock nachzuweisen. Denn durch den Wärmeeintrag der hochradioaktiven Abfälle und neotektonische Bewegungen in diesem komplexen Spannungsfeld können Wegsamkeiten oder unkalkulierbare Wechselwirkungen neu entstehen.

Auf Grund der unabwägbaren Risiken solcher Gasvorkommen muss allein schon die Existenz potentiell gasführender Schichten zum Ausschluss des Standortes Gorleben führen.

Das Deckgebirge des Salzstockes Gorleben-Rambow kann keine zusätzliche Barrierefunktion übernehmen, da durch die Gorlebener Rinne grundwasserführende durchlässige Schichten in direktem Kontakt zum Salzstock stehen. Die Bildung der elsterzeitlichen Rinnen ist gekoppelt an die Mitteleuropäische Senkungszone bzw. das Elbe-Lineament. Es gibt Bereiche in Norddeutschland, in denen die undurchlässigen Deckschichten intakt sind und in denen auch für die Zukunft die Bildung von Rinnen unwahrscheinlicher als in Gorleben ist.

Dies ist ein eindeutiger Standortnachteil von Gorleben im Rahmen einer Abwägung geologischer Kriterien.

Zusammenfassend ist festzuhalten: Der Standort Gorleben wäre bei einer ergebnisoffenen Auswahl von Standorten für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle auf Grund von zwei Ausschlusskriterien schon in einer frühen Phase aus dem Rennen. Darüber hinaus weist er in einem Abwägungskriterium deutliche geologische Nachteile gegenüber anderen Salzstöcken in Norddeutschland auf. Auch kostenintensive weitere Erkundungen, zum Beispiel eine für einen Ausschluss einer Sockelstörung zwangsläufig erforderliche 3D-Seismik sowie umfangreiche Untersuchungen zur Glazialtektonik und zu den Auswirkungen des Wärmeeintrags auf Gasvorkommen, können die gravierenden geologischen Mängel dieses Standortes nicht beseitigen.

Der Standort Gorleben erfüllt somit nicht die Mindestanforderungen an einen Endlagerstandort und ist als ungeeignet einzustufen.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- AKEND (2002): Auswahlverfahren für Endlagerstandorte – Empfehlungen des AKEnd – Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte - Abschlussbericht Dezember 2002: 260 S.
- BETZ, D. (1989): Die technisch-wirtschaftliche Situation der Niedersächsischen Erdöl- und Erdgasindustrie unter besonderer Berücksichtigung der Exploration und Feldesentwicklung - Niedersächsische Akademie Geowissenschaften Heft 3: Rohstoffvorkommen in Niedersachsen – Wirtschaftliche Bedeutung und Sicherung der Abbaumöglichkeiten: 43 – 45.
- BFS (2005): Endlagerung radioaktiver Abfälle als nationale Aufgabe - Bundesamt für Strahlenschutz, Presse- und Öffentlichkeitsarbeit; Kapitel Erkundungsstandort Gorleben erstellt von BGR: 61 S.
- BMU (2010): Bundesumweltministerium beauftragt die GRS mit der vorläufigen Sicherheitsanalyse Gorleben - Pressemitteilung Nr. 118/10 vom 5.8.2010.
- BORNEMANN, O., BEHLAU, J., FISCHBECK, R., HAMMER, J., JARITZ, W., KELLER, S., MINGERZAHN, G. & SCHRAMM, M. (2008): Standortbeschreibung Gorleben Teil 3: Ergebnisse der über- und untertägigen Erkundung des Salinars - Geologisches Jahrbuch, Reihe C, Heft 73: 211 S., 50 Abb., 5 Anl.
- BOSUM, W. & WONIK, T. (1991): Magnetic anomaly pattern in Central Europe - *Tectonophysics* 195: 253-259.
- BRÄUER, V., EIKEMEIER, R., EISENBURGER, D., GRISSEMANN, C., HESSER, J., HEUSERMANN, S., KAISER, D., NIPP, H-K., NOWAK, T., PLISCHKE, I., SCHNIER, H., SCHULZE, O., SÖNNKE, J. & WEBER, J.R. (2011): Description of the Gorleben Site Part 4: Geotechnical exploration of the Gorleben salt dome - ISBN 978-3-9814108-0-8: 169 S., Anl.
- BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN Bundestagsfraktion (2011): Lug und Trug – die Geschichte des Endlager-Standortes Gorleben – Grüner Zwischenbericht aus dem Parlamentarischen Untersuchungsausschuss Gorleben - Berlin, Januar 2011: 18 S. - http://www.gruene-bundestag.de/cms/gorleben/dokbin/367/367089.zwischenbericht_untersuchungsausschuss_g.pdf
- CACACE, M., BAYER, U. & MAROTTA, A.M. (2008): Strain localization due to structural inhomogeneities in the Central European Basin System - *International Journal Earth Sciences* 97: 899-913.
- DOHR, G. (1989): Ergebnisse geophysikalischer Arbeiten zur Untersuchung des tieferen Untergrundes in Norddeutschland - Niedersächsische Akademie Geowissenschaften Heft 2 Das Norddeutsche Becken – Geophysikalische und geologische Untersuchungen des tieferen Untergrundes: 4 – 22.
- DROZDZEWSKI, G., HENSCHIED, S., HOTH, P., JUCH, D., LITKE, R., VIETH, A. & WREDE, V. (2009): The pre-Permian of NW-Germany – structure and coalification map - *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft* 160/2: 159-172, 1 Karte.
- DUPHORN, K. (1984): Quartärgeologische Ergebnisse und Probleme bei der Endlagerforschung Gorleben - *Berichte des Geologischen und Paläontologischen Instituts der Universität Kiel* 6; ISSN 0175-9302: 47 S., 8 Abb. 1 Tab.
- EMMERMANN, R. & LAUERJUNG, J. (1997): The German Continental Deep Drilling Program KTB – Overview and major results - *Journal Geophysical Research* 102, B8: 18.179-18.201.

- EREGT GROUP (1990): An electrical resistivity transect from the Alps to the Baltic Sea (Central Segment of the EGT) - In: FREEMAN, R. & MUELLER, S. (Eds.): Proc. 6th Workshop EGT, Straßburg: 299 – 313.
- FIEE (1972): Qualitative Abschätzung der Perspektiven der Erdgasführung des sedimentären Rotliegenden in SW-Mecklenburg (Gebiet Rambow – Lübtheen) - Forschungsinstitut für die Erkundung und Förderung von Erdöl und Erdgas Gommern (FIEE); unveröff. Bericht 8.2.1972: 41 S. , 17 Anl.
- FRANKE, D. (1990): Der präpermische Untergrund der Mitteleuropäischen Senke – Fakten und Hypothesen - Niedersächsische Akademie Geowissenschaften Heft 4 Geologie und Kohlenwasserstoff – Erkundung im Präzechstein der DDR: 19 – 75.
- FRANKE, D. & HOFFMANN, N. (1999a): Das Elbe-Lineament – bedeutende Großfraktur oder Phantomgebilde? – Teil 1: Die Referenzgebiete - Zeitschrift für geologische Wissenschaften 27: 279-318.
- FRANKE, D. & HOFFMANN, N. (1999b): Das Elbe-Lineament – bedeutende Großfraktur oder Phantomgebilde? – Teil 2: Regionale Zusammenhänge - Zeitschrift für geologische Wissenschaften 27: 319-350.
- GDF SUEZ (2010): Lüchow Z1.- Flyer zur Öffentlichkeitsarbeit: 2S.
- GRIMMEL, E. (1979): Warum der Salzstock Gorleben-Rambow als Atommüll-Deponie ungeeignet ist.- Öko-Institut Freiburg (Hrsg.) 8/79: 59 S. Anl.
- GRIMMEL, E. (1980): Warum der Salzstock Gorleben-Rambow als Atommüll-Deponie ungeeignet ist.- Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft 131: 487-519.
- GRS (2010): Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben – Beschreibung des Arbeitsprogramms – 09.11.2010: 42 S.
- HAMPEL, A., HETZEL, R. (2006). Response of normal faults to glacial-interglacial fluctuations of ice and water masses on Earth's surface - Journal of Geophysical Research 111: B06406.
- HAMPEL, A., HETZEL, R. & MANIATIS, G. (2010a): Response of faults to climate-driven changes in ice and water volumes on Earth's surface - Philosophical Transactions of the Royal Society A 2010 368: 2501-2517.
- HAMPEL, A., KAROW, T, MANIATIS, G., HETZEL, R. (2010b). Slip rate variations on faults during glacial loading and postglacial unloading: Implications for the viscosity structure of the lithosphere - Journal of the Geological Society of London 167: 385-399.
- HETZEL, R., HAMPEL, A. (2005). Slip rate variations on normal faults during glacial–interglacial changes in surface loads - Nature 435: 81-84.
- HOFFMANN, N. (1990): Zur paläozoischen Entwicklung des Präzechsteins in der Nordostdeutschen Senke - Niedersächsische Akademie Geowissenschaften Heft 4 Geologie und Kohlenwasserstoff – Erkundung im Präzechstein der DDR: 5 – 18.
- JARITZ, W. (1980): Bemerkungen zur Geologie des präquartären Untergrundes in der Umgebung von Gorleben - in: Stellungnahmen zu den Thesen von E.Grimmel - Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft 131: 521-558.
- JARITZ, W. (1992): Fortschritte und offene Fragen zur Entstehung der Salzstrukturen NW-Deutschlands - Niedersächsische Akademie Geowissenschaften Heft 8 Salz in Niedersachsen: 16 – 23.

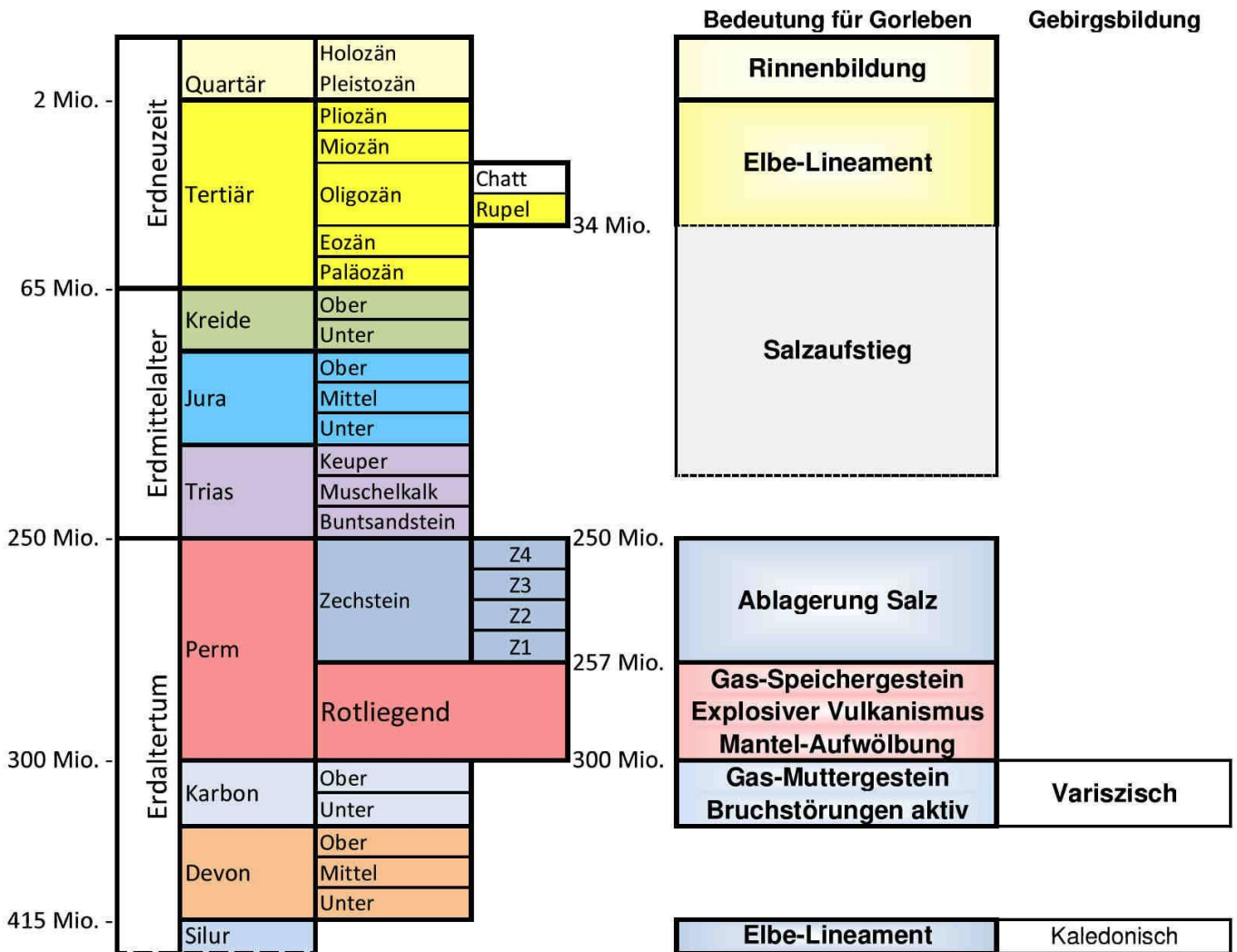
- KAISER, A., REICHERTER, K., HÜBSCHER, C. & GAJEWSKI, D. (2005): Variation of the present-day stress field within the North German Basin — insights from thin shell FE modeling based on residual GPS velocities - *Tectonophysics* 397: 55-72.
- KELLER, S. (2009): Eiszeitliche Rinnensysteme und ihre Bedeutung für die Langzeitsicherheit möglicher Endlagerstandorte mit hochradioaktiven Abfällen in Norddeutschland - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, ISBN 978-3-9813373-3-4, 24 S.
- KELLER, S. (2011): Zeitliche Entwicklung des Klimas und eines Endlagers.- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Homepage (Stand: 17.7.2011): http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Langzeitsicherheit/Szenarien/szenarien_klima.html?nn=1550524.
- KEWA (1974): Ermittlung mehrerer alternativer Standorte in der Bundesrepublik Deutschland für eine industrielle Kernbrennstoff-Wiederaufarbeitungsanlage - Kennzeichen KWA 1224; Abschlussbericht 31.12.1974: 44 S., Anl.
- KLEDITZSCH, O.E. (2004a): Beiträge zur Genese, Lithostratigraphie, Petrographie sowie Petrophysik des tieferen Oberrotliegend der Altmark - Dissertation, TU Freiberg, 426 S.
- KLEDITZSCH, O.E. (2004b): Modalbestand, Materialherkunft und geotektonische Position der Sandsteine des tieferen Oberrotliegend II (Mittel-/Oberperm) der Altmark und angrenzender Gebiete Nordostdeutschlands – Tektonik, Klima oder beides? - *Zeitschrift für geologische Wissenschaften* 32: 353-384.
- KLINKE, H., BOEHME, J., GRISSEMAN, C., HOUBEN, G., LUDWIG, R.-L., RÜBEL, A., SCHELKES, K., SCHILDKNECHT, F. & SUCKOW, A. (2007): Standortbeschreibung Gorleben Teil 1: Die Hydrogeologie des Deckgebirges des Salzstocks Gorleben - *Geologisches Jahrbuch, Reihe C, Heft 71*: 147 S., 59 Abb., 4 Tab., 1 Anl.
- KOSINOWSKI, M., PORTH, H., SEDLACEK, R. (1997): Erdöl und Erdgas in Niedersachsen – Entstehung und Vorkommen - *Niedersächsische Akademie Geowissenschaften Heft 13* Die niedersächsische Erdöl- und Erdgasindustrie im Umbruch: 5 – 19.
- KÖTHE, A., HOFFMANN, N., KRULL, P., ZIRNGAST, M. & ZWIRNER, R. (2007): Standortbeschreibung Gorleben Teil 2: Die Geologie des Deck- und Nebengebirges des Salzstocks Gorleben - *Geologisches Jahrbuch, Reihe C, Heft 72*: 201 S., 42 Abb., 19 Tab.
- LBGR (2004): Atlas zur Geologie von Brandenburg.- Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, Maßstab 1:1Mio, CD-ROM.
- LIN, C.H. (2005): Seismicity increase after the construction of the world's tallest building: An active blind fault beneath the Taipei 101 - *Geophysical Research Letters*, 32: L22313; 4S.
- MARX, J., HUEBSCHER, H.D., HOTH, K., DORICH, D. & KRAMER, W. (1995): Vulkanostratigraphie und Geochemie der Eruptivkomplexe - in: *Stratigraphie von Deutschland I. Norddeutsches Rotliegendbecken. Rotliegend-Monographie, Teil II.- hrsg. Von E.Plein, Vol. 183, Courier Forschungs - Institut Senckenberg, Frankfurt(Main)*.
- MAUTHE, F. (1979): Probleme und Risiken bei der geplanten Einlagerung radioaktiver Abfälle in einen nordwestdeutschen Salzstock – *Mitteilungen des Geologischen Institutes der Universität Hannover* 9/79; ISSN 0440-2812: 60 S., 5 Abb.
- MEMMERT, G. (1996): Die Barrierewirkung des Deckgebirges im Raum Gorleben - *Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen* 40: 16 – 25.
- MERZ, E. (1982): Realisierung der geologischen Endlagerung radioaktiver Abfälle - *Energiewirtschaftliche Tagesfragen - Fachheft Entsorgung* 2: 37 – 42.

- MEYER, K.-D. (1980): Quartäre Tektonik im Unterelbe-Gebiet? - in: Stellungnahmen zu den Thesen von E.Grimmel - Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft 131: 521-558.
- NMW (1977): Kabinettsvorlage vom 4.2.1977 zur Kabinettsitzung am 8.2.1977 - Niedersächsischer Minister für Wirtschaft und Verkehr.
- ORTLAM, D. & VIERHUFF, H. (1978): Aspekte zur Geologie des höheren Känozoikums zwischen Elbe und Weser-Aller - Neues Jahrbuch Geologie und Paläontologie, Monatshefte 7/78: 71-97.
- PALMER, J. & GROSS, U. (1999): Richtung der rezenten, horizontalen Hauptspannung im Subsalinar Norddeutschlands - Zeitschrift für geologische Wissenschaften 27: 189-200.
- RSK (1976): Protokoll der 1. Sitzung des RSK ad hoc Ausschusses „Standort der Wiederaufarbeitungsanlage der KEWA am 5.2.1976 - Az: RSK/U-39/2; 18.2.1976.
- SCHNEIDER, U. & EDLER, M. (2010): Gas im Salzstock Gorleben - Greenpeace; 2.11.2010: http://www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user_upload/themen/atomkraft/Greenpeace_PK_0211_2010_Gasfunde_in_Gorleben.pdf: 24 S.
- SCHRÖDER, L. (1989): Erdöl und Erdgas in Niedersachsen – Niedersächsische Akademie Geowissenschaften Heft 3 Rohstoffvorkommen in Niedersachsen: 33 – 42.
- STACKEBRANDT, W. (2004): Zur Neotektonik in Norddeutschland - Zeitschrift für geologische Wissenschaften 32: 84-95.
- STACKEBRANDT, W. (2005): Neotektonische Aktivitätsgebiete in Brandenburg (Norddeutschland) - Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge 12: 165-172.
- STACKEBRANDT, W. (2009): Subglacial channels of Northern Germany – a brief review – Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft 160/3: 203-210.
- STACKEBRANDT, W., GARETZKI, R., AIZBERG, R., KARABANOW, A., LUDWIG, A.O. & OSTAFICZUK, S. (2001): Zur Neogeodynamik des nördlichen Mitteleuropas – Ergebnisse aus dem IGCP-Projekt 346 „Neogeodynamica Baltica“ -Zeitschrift für geologische Wissenschaften 29: 13-16.
- TEUMER, P., MÜLLER, E.P. & ANCLAM, P. (1990): Aufsuchung und Gewinnung von Kohlenwasserstoffen in der DDR - Erdöl Erdgas Kohle 106: 285-292.
- VEB EE (1971): Abschlussbericht über die erdölgeologischen Untersuchungsarbeiten auf der Z-Struktur Rambow - VEB Erdöl und Erdgas Grimmen; unveröff. Bericht; 10.11.1971: 168 S.
- VENZLAFF, H. (1978): Tieflagerung radioaktiver Abfälle aus geologischer Sicht - atomwirtschaft atw, 7/8 1978: 335-338.
- VENZLAFF, H. (1983): Fachliche Stellungnahme zum Abschlussbericht von Prof. Duphorn „Quartärgeologische Gesamtinterpretation Gorleben“ - BGR, 16.3.1983; Archiv-Nr.:94532, Hannover.
- ZIRNGAST, M. (1991): Die Entwicklungsgeschichte des Salzstocks Gorleben – Ergebnis einer strukturgeologischen Arbeit.- Geologisches Jahrbuch, Reihe A, 132: 31 S., 17 Abb., 2 Tab., 1 Tafel.

Abkürzungen

BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BMFT	Bundesministerium für Forschung und Technologie
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
DBE	Deutsche Gesellschaft z. Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH
DBE Tec	DBE Technology GmbH, Tochter der DBE
GRS	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH
IfG	Institut für Gebirgsmechanik GmbH
IGCP	International Geoscience Program, Vereinte Nationen
ISTec	Institut für Sicherheitstechnologie GmbH, Tochter der GRS
KEWA	Kernbrennstoff Wiederaufarbeitungs Gesellschaft mbH
KIT	Karlsruhe Institut für Technologie, Nachfolger des Kernforschungszentrums
KTB	Kontinentale Tiefbohrung Windischeschenbach
LBGR	Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg
NLfB	Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung
NMU	Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz
NMW	Niedersächsisches Ministerium für Wirtschaft
NSE	Nuclear Safety Engineering International GmbH
RSK	Reaktorsicherheitskommission
TUC	Technische Universität Clausthal-Zellerfeld
VDF	Variszische Deformationsfront (s. Glossar)
VSG	Vorläufige Sicherheitsanalyse Gorleben

Geologische Zeittafel und Glossar



- Paläozoikum Erdaltertum, endete vor ca. 250 Mio. Jahren, der jüngere Abschnitt wird auch als Permokarbon (Perm und Karbon) zusammengefasst
- Karbon Periode des Erdaltertums, ca. 360 - 300 Mio. Jahre, Steinkohle in Mitteleuropa, Gas-Muttergestein (von dort Aufstieg nach oben)
- Variszikum Gebirgsbildungsphase in Mitteleuropa, ca. 350 bis 300 Mio. Jahre, flache Überschiebungen und Bruchtektonik an steilstehenden Störungen (u.a. Arendsee-Störung), Variszische Deformationsfront (VDF) endet im Bereich des Salzstocks Gorleben-Rambow
- Diskordanz Winkeliges oder unregelmäßiges Aufeinanderliegen von Gesteinsschichten
- Perm Letzte Periode des Erdaltertums, in Deutschland zweigeteilt in Rotliegend und Zechstein

Rotliegend	Ältere Epoche des Perms, ca. 300 – 257 Mio. Jahre, Zeit dramatischer Veränderungen der Landschaft, Aufwölbung der Kruste-Mantel-Grenze, Explosiver Vulkanismus, Altmark-Schwelle mit alpinen Verhältnissen im Bereich des Salzstocks Gorleben-Rambow, Wüstenklima, Ablagerung der Gas-Speichergesteine (Sandsteine z.B. der Mirow- oder Parchim-Formation), Gasvorkommen Salzwedel/Peckensen
Zechstein	Jüngere Epoche des Perms, ca. 257 – 250 Mio. Jahre, Ablagerung von Salzen in einem flachen, warmen Meer, 4 Zyklen
Moho	Mohorovičić-Diskontinuität, Grenze zwischen Erdmantel und Erdkruste, im Bereich des Salzstocks Gorleben-Rambow in Tiefen zwischen 29 km (Altmark-Schwelle) und 32 km, die Ursache dieser Aufwölbung ist unbekannt
Mesozoikum	Erdmittelalter, ca. 250 – 65 Mio. Jahre, unterteilt in 3 Perioden: Trias, Jura, Kreide, Salzaufstieg (Halokinese)
Halokinese	Salzbewegung auf Grund des enormen Druckes der darüber liegenden Schichten, die überwiegende Zahl der Salzstöcke in Norddeutschland ist entlang von Bruchstörungen aufgestiegen, auch der Salzstock Gorleben-Rambow ist mit großer Wahrscheinlichkeit so entstanden, Brüche sind genug vorhanden
Känozoikum	Erdneuzeit, ca. 65 Mio. Jahre bis heute, zweigeteilt: Tertiär und Quartär
Tertiär	Ältere Periode der Erdneuzeit, ca. 65 bis 2 Mio. Jahre, Zeit wärmeren Klimas, u.a. Ablagerung von Tonschichten (z.B. Rupelton)
Rupel	Zeitabschnitt eines Teils des Tertiärs, ca. 34 – 28 Mio. Jahre, in Deutschland wichtige Tonschicht, die abdichtende Eigenschaften hat
Quartär	Jüngste Periode der Erdneuzeit, ca. 2 Mio. Jahre bis heute, Zeit des Wechsels von Eis- und Warmzeiten, mehrere Eiszeitvorstöße in Norddeutschland: Elster, Saale, Weichsel.
Elster-Eiszeit	Älteste Kaltzeit, bei der es sicher nachgewiesen zu einer großräumigen Vergletscherung Norddeutschlands gekommen ist, 400.000 bis 320.000 Jahre, Bildung tiefer Rinnen in der Mitteleuropäischen Senkungszone, u.a. Gorleben-Rinne
Gorleben-Rinne	Elster-eiszeitliche Rinne, schützende Deckschichten wurden durch Gletscher und Schmelzwasser ausgeräumt, Grundwasser kann direkt in Kontakt mit Salzstock Gorleben-Rambow treten
Glazialtektonik	Auslösung von Bewegungen und Erdbeben durch Eisauflast
Isostasie	Geologischer Gleichgewichtszustand zwischen den Massen der Erdkruste und dem darunter befindlichen Erdmantel
Rezent	Gegenwärtig oder aktuell
Neotektonik	Rezente Spannungen oder aktive Störungen

Abbildungsverzeichnis (Anlage)

- Abb. 1a: Tiefenlage der Mohorovicic-Diskontinuität (KÖTHER et al. 2007)
- Abb. 1b: Tiefenlage der Präperm-Oberfläche (KÖTHER et al. 2007)
- Abb. 2a: Tektonische Felderung des Grundgebirges (KÖTHER et al. 2007)
- Abb. 2b: 2 Seismische Profile der ehemaligen DDR (HOFFMANN 1990)
- Abb. 3: Karte des Präperms in Norddeutschland (DROZDZEWSKI et al. 2009)
- Abb. 4a: 2D-seismisches Profil Südoldenburg 1979 (BETZ 1989)
- Abb. 4b: 3D-seismisches Profil des gleichen Abschnitts 1985 (BETZ 1989)
- Abb. 5a: Varianten der Definition des Elbe-Lineamentes (KÖTHER et al. 2007)
- Abb. 5b: Reflexionsseismisches Tiefenprofil des Elbe-Lineamentes (DOHR 1989)
- Abb. 6a: Tiefenlage des sedimentären Rotliegenden (HOFFMANN 1990)
- Abb. 6b: Paläotektonik u Mächtigkeit der Parchim-Schichten (HOFFMANN 1990)
- Abb. 7a: Permokarboner Vulkanismus und Paläotektonik (KLEDITZSCH 2004b)
- Abb. 7b: Mirow-Formation und Äquivalente in der Altmark (KLEDITZSCH 2004a)
- Abb. 8: Erdgasgeologische Karte (Ausschnittvergrößerung) (SCHRÖDER 1989)
- Abb. 9: Kohlenwasserstoffvorkommen (KOSINOWSKI et al. 1997)
- Abb. 10: Glazialrinnen mit Lage der Salzstöcke (BfS 2005)
- Abb. 11: Glazialrinnen nach IUGS-Projekt 346 (STACKEBRANDT 2009)
- Abb. 12a: Mitteleuropäische Senkungszone (STACKEBRANDT 2009)
- Abb. 12b: Höhenposition Rupelbasis (STACKEBRANDT 2004)
- Abb. 13a: Störungsmuster in Zentraleuropa (KAISER et al. 2005)
- Abb. 13b: Modellierte Verformungsraten von Störungen (KAISER et al. 2005)
- Abb. 14a: Modellrechnungen nach GPS-Daten (KAISER et al. 2005)
- Abb. 14b: Karte der maximalen horizontalen Spannung (CACACE et al. 2008)