

**Endlager für atomare Abfälle
am Beispiel des Salzstocks Gorleben
(Der Versuch einer Klarstellung)**

von Bernd Hartmann

Halle (Saale), im August 2011

Inhalt

	<i>Seite</i>
1. Vorwort	1
2. Über die Notwendigkeit der Einrichtung von Endlagern	2
3. Anforderungen an Endlager	2
4. Praktiken und Möglichkeiten der Entsorgung und Endlagerung radioaktiver Abfälle	3
5. Wirtsgesteine und ihre Eigenschaften	4
6. Der Salzstock von Gorleben als möglicher Standort für ein Endlager	6
7. Die geologischen Verhältnisse im Bereich des Salzstocks von Gorleben	9
8. Die Herausbildung des Salzstocks von Gorleben	12
9. Bergbauliche Aspekte der Endlagerung	15
10. Kritiken an der Eignung des Standorts als atomares Endlager	16
11. Fazit	17
12. Literatur/Quellen	18

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1: Geografische Übersicht

Abb. 2: Das Verbreitungsgebiet von Zechsteinablagerungen in Mitteleuropa

Abb. 3: Verschiedene Formen salzförender Zechsteinablagerungen (Oberperm) auf dem Gebiet der
Norddeutsch-Polnischen Senke

Abb. 4: Paläostrukturschnitte - die Entwicklung des Salzstocks von Gorleben

Abb. 5: Schematischer Schnitt durch den Salzstock Gorleben

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1: Endlagerrelevante Eigenschaften potentieller Wirtsgesteine

Tab. 2: Chronologie der Standortauswahl

Tab. 3 : Eckpunkte der Endlagerkonzepte in unterschiedlichen Wirtsgesteinen

Anhang

Stratigraphische Tabellen für die känozoischen Ablagerungen im Gebiet Gorleben

1. Vorwort

Vor einiger Zeit wurde ich angefragt, ob ich bereit wäre, die unten aufgeführten Artikel von BRÄUER (2009) [12] und BORNEMANN et al. (2008) [10] zu kommentieren bzw. für eine breitere Leserschaft aufzuarbeiten. Mit meiner Antwort zögerte ich etwas bezüglich einer Zusage, weil mir bewusst war, wie verantwortungsvoll eine solche Aufgabe ist. Letztendlich sagte ich zu, weil mich schon allein der Sachverhalt dazu bewog, dass bei allen öffentlichen Debatten über das Für und Wider von Endlagern wie z. B. jenes von Gorleben das Wort von allen möglichen Personen geführt wird, jedoch sehr selten von den dafür prädestinierten Spezialisten. Für meine Zusage sprach also weiter, dass die genannten Spezialisten größtenteils meine Berufskollegen sind, so dass eine Stellungnahme meinerseits unter der Bedingung der Wahrung des Respekts gegenüber geleisteter Arbeit Dritter nur recht und billig ist, was immerhin besser wäre, als wenn dies von von Hause aus fachlich inkompetenten Journalisten, Philosophen, Schriftstellern o. ä. Personen bewerkstelligt werden würde. Schnell wurde mir klar, dass die Auseinandersetzung mit den o. g. Arbeiten natürlich bei weitem nicht ausreichend ist, um sich einen umfassenden Überblick über die Problematik der Endlagerung zu verschaffen. Insofern stellen die beiden Arbeiten nur die Spitze des Eisberges dar.

Das Ansinnen des vorliegenden Artikels besteht vor allem darin, anhand des bestehenden riesigen Informationsfundus hinreichend kurz und verständlich relevante Sachverhalte der Endlagerung im tiefen geologischen Untergrund einem erweiterten Kreis von Interessenten zugänglich zu machen. Das ist keineswegs eine leichte Aufgabe. Es erweist sich als äußerst schwierig, sich hierfür in kurzer Zeit ein objektives Bild zu machen und sich dementsprechend ein kompetentes Urteilsvermögen zu erarbeiten. In wie weit mir die Bewältigung dieser Aufgabe gelang, mag u. a. auch der Leser beurteilen.

Im Zuge der fachlichen Auseinandersetzung mit dem Thema stößt man zwangsläufig auf die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), welche von Beginn an federführend für die Untersuchungsarbeiten u. a. am Salzstock Gorleben verantwortlich zeichnet. Die aktuellen Kenntnisse über die Salzstruktur von Gorleben basieren auf einer weit über 30 Jahre währenden Geschichte, die mit hochkomplexen Projekten vieler Untersuchungsstadien, entsprechenden Untersuchungsarbeiten und Phasen der Berichterstattung und mit anderen zahlreichen Nebenprojekten im Zusammenhang stehen. Dabei zeigt sich, dass die Bearbeitung vorliegender Problematik ein Werk vieler Fachleute hauptsächlich geowissenschaftlicher Disziplinen ist wie der Geophysik (komplexe Oberflächenmessungen, Messungen in Bohrungen und bergbaulichen Hohlräumen u. a.), Ingenieurgeologie (Standortsicherheitsfragen, mechanisches Langzeitverhalten, thermische Eigenschaften u. a.), Hydrogeologie (Einfluss von Grundwässern, Langzeitbetrachtung der Grundwasserdynamik u. a.), allgemeine Geologie (geologische Struktur, Stratigraphie, Genese u. a.), um hier nur die wichtigsten zu nennen. Selbstredend basieren die Arbeiten auf den modernsten naturwissenschaftlichen Herangehensweisen und auch gesellschaftswissenschaftlichen Erkenntnissen. Als selbstverständlich ist dabei der Einsatz modernster Laboranalytik, Bohrtechnik, Rechen- (Hard- und Software) anzusehen. Ganz deutlich tritt zu Tage, dass die Aufgaben im Zusammenhang mit der Untersuchung von potentiellen Endlagerstandorten keinesfalls von einer kleineren Gruppe von Bearbeitern weder fachlich noch physisch zu bewältigen sind.

Bei der Erarbeitung des Artikels wurden natürlich die Möglichkeiten des Internets genutzt so auch die Internetenzyklopädie Wikipedia. Dies erwies sich auch als sehr hilfreich, so dass sich somit Informationen sowie deren Vollständigkeit beispielsweise über die potentiellen Möglichkeiten der Endlagerung atomarer Abfälle erlangen bzw. gewährleisten ließen. Hinsichtlich Fragen der Endlagerung von Atom- und Kernkraft usw. zog sich jedoch durch jeden Artikel wie ein roter Faden die Handschrift der strikten Gegnerschaft gegen Kernkraft und die ins Auge gefassten Varianten der Endlagerung atomaren Abfalls, trotz des ersten Anscheins von Ausgewogenheit so, als wenn die objektive Wahrheit per se auf der Seite der kritischen Verfasser läge.

Was die Möglichkeit dessen betrifft, dass sich die übernommene Aufgabe als undankbar erweisen könne, spreche ich hier aus ureigener Erfahrung. Sehr oft zeigte sich diesbezüglich das Phänomen, dass Menschen mit ganz zweifellos hohen moralischen und intellektuellen Ansprüchen sich selbst und ihrer Umgebung gegenüber besonders aus der nicht naturwissenschaftlichen Sphäre nicht mehr in ihrer weiteren Meinungsbildung beeinflussbar sind und dabei äußerste Resistenz gegenüber naturwissenschaftlich basierten Argumenten zeigen.

2. Über die Notwendigkeit der Einrichtung von Endlagern

Im Zeitraum von 1957 bis 2004 wurden auf dem heutigen Territorium der Bundesrepublik insgesamt ca. 110 kerntechnische Anlagen errichtet und in Betrieb genommen. Zu diesen Anlagen zählen Kraftwerke wie auch Forschungsreaktoren, welche nicht der Energiegewinnung dienen. Zum jetzigen Zeitpunkt sind davon in Deutschland noch 17 Anlagen in Betrieb (9 Kernkraftwerke, 8 Forschungsreaktoren) [5]. Durch diesen Betrieb fallen zwangsläufig radioaktive Abfälle an. Diese Abfälle stuft man vorrangig nach ihrem Gehalt an radioaktiven Stoffen und der damit verbundenen Wärmeentwicklung ein. International werden radioaktive Abfälle in schwach-, mittel- und hochradioaktive Abfälle klassifiziert. Wärmeentwickelnd sind vor allem Abfälle aus der Wiederaufarbeitung, in denen hohe Konzentrationen hochaktiver Spaltprodukte enthalten sind. In Atomkraftwerken der Bundesrepublik Deutschland wurden bisher jährlich ca. 450 Tonnen Abfall in Form abgebrannter Brennelemente (stark radioaktiv) erzeugt [1].

Ganz unabhängig davon, wie man sich zur Rolle der Kernkraft bei der Energiegewinnung verhalten mag, müssen alle Seiten letztendlich den Fakt anerkennen, dass im Lande einerseits beträchtliche Mengen radioaktiver Abfälle angefallen sind, auch künftig noch anfallen werden und andererseits ihre dauerhafte sichere Endlagerung der bisher praktizierten Alternative ihrer Zwischenlagerung auf unbestimmte Zeit vorzuziehen ist.

3. Anforderungen an Endlager

Die Kriterien für die Einrichtung und Nutzung von Endlagern für radioaktive Abfälle beruhen auf ihren für die Biosphäre schädlichen Eigenschaften, die hauptsächlich mit den langen Halbwertszeiten einiger radioaktiver Elemente bzw. ihrer Isotope in Zusammenhang stehen. Deshalb muss bei der Endlagerung dieser Abfälle ein direkter oder indirekter Kontakt mit der Biosphäre weitgehend bzw. am besten gänzlich verhindert werden. Nach neuerlichen Äußerungen von politischer Seite [2] wird die Gewährleistung einer effektiven Abschirmung über die Dauer von einer Million Jahren gefordert.

Die gesetzlichen Anforderungen an Endlager für radioaktive Abfälle aus kerntechnischen Anlagen basieren auf dem Atomgesetz (AtG) [3]. In einem Dokument des BMU sind die „Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle“ (Stand 30. September 2010) [4] dargelegt. Darin sind u. a. die Sicherheitsprinzipien für die Einrichtung und den Betrieb entsprechender Endlager formuliert: „Der dauerhafte Schutz von Mensch und Umwelt ist unter Beachtung folgender Sicherheitsprinzipien zu erreichen:

- 4.1 Die radioaktiven und sonstigen Schadstoffe in den Abfällen müssen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich konzentriert und eingeschlossen und damit möglichst lange von der Biosphäre ferngehalten werden.
- 4.2 Die Endlagerung muss sicherstellen, dass Freisetzungen radioaktiver Stoffe aus dem Endlager langfristig die aus der natürlichen Strahlenexposition resultierenden Risiken nur sehr wenig erhöhen.
- 4.3 Die Endlagerung darf die Artenvielfalt nicht gefährden. Dabei wird davon ausgegangen, dass auch terrestrische Ökosysteme sowie andere Spezies in ihrer Art geschützt werden, wenn der Mensch als Individuum vor ionisierender Strahlung geschützt ist.

- 4.4 Die anderweitige Nutzung der natürlichen Ressourcen darf nicht unnötig eingeschränkt werden.
- 4.5 Die Auswirkungen der Endlagerung auf Mensch und Umwelt dürfen außerhalb der Grenzen Deutschlands nicht größer sein als innerhalb Deutschlands zulässig.

Zur Vermeidung unzumutbarer Lasten und Verpflichtungen für zukünftige Generationen sind folgende Sicherheitsprinzipien zu beachten:

- 4.6 Das Endlager ist so zu errichten und so zu betreiben, dass für den zuverlässigen langfristigen Einschluss der radioaktiven Abfälle im einschlusswirksamen Gebirgsbereich in der Nachverschlussphase keine Eingriffe oder Wartungsarbeiten erforderlich werden.
- 4.7 Es ist eine möglichst zügige Errichtung des Endlagers zu realisieren.
- 4.8 Für Errichtung und Betrieb einschließlich Stilllegung des Endlagers müssen die erforderlich werdenden finanziellen Mittel zeitgerecht zur Verfügung stehen.“

4. Praktiken und Möglichkeiten der Entsorgung und Endlagerung radioaktiver Abfälle

An dieser Stelle seien kurz die Praktiken und Möglichkeiten der Entsorgung und Endlagerung radioaktiver bzw. anderer schädlichen Abfälle [5] aufgeführt. Eine Kommentierung dieser Möglichkeiten erübrigt sich z. T. von selbst.

Endlagerung im Eisschild der Antarktis

Bei dieser Idee wird davon ausgegangen, dass durch den mächtigen Eispanzer der Antarktis dort verbrachte radioaktive Stoffe wirksam von der Biosphäre isoliert gelagert werden können. Dem widerspricht jedoch die Wärmeentwicklung der Abfälle sowie die nach international verbindlichen Verträgen hohen Umweltauflagen für diese Region.

Entsorgung in den Weltmeeren

Bis 1994 konnten feste radioaktive Abfälle legal in den Meeren verklappt werden. Bisher ist es nach internationalem Recht noch legal, radioaktiv belastete Wässer in die Meere einzuleiten (Wiederaufbereitungsanlage La Hague, Nuklearkomplex Sellafield).

Lagerung unter freiem Himmel

Diese Variante der Lagerung radioaktiver Stoffe wird in großen Flächenländern wie Russland und in einigen GUS-Staaten bis heute praktiziert, weil man dort über relativ große unbesiedelte Territorien verfügt. Diese Herangehensweise birgt ganz ohne Zweifel ein hohes Gefahrenpotential für die Biosphäre.

Entsorgung im Weltraum

Entsprechend dieser Idee wird vorgeschlagen, atomaren Abfall mit Hilfe von Raketen auf andere Himmelskörper (Planeten, Asteroiden) und auch in Richtung Sonne zu transportieren. Dieser Lösungsvorschlag ist jedoch mit hohen Risiken (Gefahren in der Startphase im Bereich des Einflusses des Gravitationsfeldes der Erde) und extrem hohen Kosten verbunden.

Wiederverwertung

Im Falle der weiteren Energiegewinnung mittels Kernspaltung kann als atomarer Abfall angesehenes Material nach entsprechender Aufarbeitung einer industriellen Kernenergiegewinnung wieder zugeführt werden. Den atomaren Müll kann man insofern auch als wertvollen künftigen Rohstoff für die Gewinnung von Kernbrennstoffen ansehen.

Dieser Kategorie ist auch die Nutzungsart zuzuordnen, bei der Anreicherung und Energiegewinnung an-gefallenes abgereichertes Material (Uran) zur Herstellung von Uranmunition mit militärisch gewollter erhöhter Durchschlagskraft, erhöhter Toxizität und negativen Spätfolgen der Radioaktivität zu verwenden.

Transmutation

Bei diesem Verfahren sollen aus hochaktiven langlebigen Nukliden durch Neutronenbeschuss kurzlebige Nuklide hergestellt werden, womit die notwendige Dauer ihrer Abschirmung von der Biosphäre erheblich verkürzt werden würde. Forschungen dazu sind jedoch noch in ihren Anfängen, so dass derzeit auf der Basis der Transmutation noch keine industriell betriebenen Anlagen existieren.

Endlagerung im tiefen geologischen Untergrund

Entsprechend dieser Variante der Endlagerung wird die Deponierung radioaktiver Abfälle in geologisch stabilen Gesteinsschichten vorgesehen. In Deutschland wird in fachlich kompetenten Kreisen die Endlagerung radioaktiver Abfälle im tiefen geologischen Untergrund unter dem Vorzug von Salzstöcken als beste Entsorgungsvariante favorisiert. Neben der Endlagerung in Salzstöcken fasst man diese auch in Graniten, tonigen Gesteinen u. a. als so genannte Wirtsgesteine ins Auge. Beispielsweise konzentriert man sich in Frankreich auf die Suche von für die Endlagerung geeigneten Strukturen mit tonigen Gesteinen. Dies ist vor allem der Tatsache geschuldet, dass auf dem Territorium von Frankreich nur wenige, anders genutzte oder für eine Endlagerung ungeeignete Salzstöcke existieren!

Konditionierung

An dieser Stelle soll kurz auf die so genannte Konditionierung von radioaktiven Abfällen eingegangen werden. Mit der Konditionierung werden die Abfälle so behandelt, dass sie in einen chemisch inerten Zustand versetzt werden und beispielsweise in Wasser unlöslich sind. Zum Beispiel werden hochradioaktive Abfälle dazu in Glas eingeschmolzen und wasserdicht in Edelstahlbehältern verpackt.

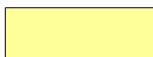
5. Wirtsgesteine und ihre Eigenschaften

Auf die Wirtsgesteine als Gesteine, welche das zur Endlagerung gelangende Material im tiefen Untergrund unmittelbar umgeben sollen, wurde bereits im Kap. 4 kurz eingegangen. Als für die Endlagerung in Frage kommende Wirtsgesteine werden national wie international salzführende Schichten, Tone, Tongesteine und feste kristalline Gesteine in Betracht gezogen. Dazu wurden in der Vergangenheit intensive Forschungsarbeiten betrieben. Die Ausrichtung der Forschungsarbeiten hängt vor allem von den jeweiligen lokalen geologischen Gegebenheiten in den entsprechenden Ländern ab. In Deutschland wurden durch die BGR intensive Studien betrieben. Dazu wurden von ihr die Berichte über die Untersuchung kristalliner Gesteine - „Untersuchung und Bewertung von Regionen in nicht salinaren Formationen“ [17] („Kristallinstudie“, 1994), von Salzgesteinen - „Untersuchung und Bewertung Salzformationen“ [16] („Salzstudie“, 1995) sowie von Tonen und Tongesteinen - Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen

Deutschlands - Untersuchung und Bewertung von Tongesteinsformationen („Tonstudie“, 2007) vorgelegt. In [15] wird dazu aufbauend auf den genannten Studien zusammenfassend Stellung genommen. Aus Tab. 1 ist eine Bewertung der Eignung als Wirtsgestein für die drei genannten Gesteinsformationen zu entnehmen.

Tab. 1: Endlagerrelevante Eigenschaften potenzieller Wirtsgesteine [15]

<i>Eigenschaft</i>	<i>Steinsalz</i>	<i>Ton/Tonstein</i>	<i>Kristallingestein (z. B. Granit)</i>
Temperaturleitfähigkeit	hoch	gering	mittel
Durchlässigkeit	praktisch undurchlässig	sehr gering bis gering	sehr gering (ungeklüftet) bis durchlässig (geklüftet)
Festigkeit	mittel	gering bis mittel	hoch
Verformungsverhalten	viskos (Kriechen)	plastisch bis spröde	spröde
Hohlraumstabilität	Eigenstabilität	Ausbau notwendig	hoch (ungeklüftet) bis gering (stark geklüftet)
In-situ-Spannungen	lithostatisch isotrop	anisotrop	anisotrop
Lösungsverhalten	hoch	sehr gering	sehr gering
Sorptionsverhalten	sehr gering	sehr hoch	mittel bis hoch
Temperaturbelastbarkeit	hoch	gering	hoch

 günstige Eigenschaft
  ungünstige Eigenschaft
  mittel

Anhand der Tabelle ist leicht zu erkennen, dass für Salzgesteine die Anzahl der grün gekennzeichneten Felder am größten ist. Auf einzelne der in Tab. 1 aufgeführten Eigenschaften sei kurz eingegangen:

Durchlässigkeit

Die Durchlässigkeit von Gesteinen für Wasser wird in der Geologie meist mit dem kf-Wert quantifiziert. Der kf-Wert (Durchlässigkeitsbeiwert, Filtrationskoeffizient) trägt als Maßeinheit das Verhältnis einer Längen- zu einer Zeiteinheit (m/s, m/d u. a.). Diese Parameterwerte werden sehr häufig unter Laborbedingungen an Einzelproben (Kernstücke o. ä.) oder auch unter Feldbedingungen (Pumpversuche u. a.) ermittelt. Beispielsweise sind für Kiese und Sande kf-Werte in der Größenordnung von $n \cdot 10^{\exp-3}$ bis $n \cdot 10^{\exp-5}$ m/s charakteristisch. Dagegen weisen mehr oder weniger plastische Tone (Korngrößen $< 0,002$ mm) und Schluffe (Korngrößen von 0,063 mm bis 0,002 mm) in der Regel kf-Werte zwischen $n \cdot 10^{\exp-9}$ bis $n \cdot 10^{\exp-11}$ m/s auf. Nach der Kornfraktion kommen reine Tone in der Natur äußerst selten vor. Tonige Gesteine stellen demnach ein Mineralgemisch der Schluff- und Tonfraktion dar, wobei in der Regel tatsächlich die Schlufffraktion dominiert, auch wenn das Gestein äußerlich einen „stark tonigen“ Eindruck erweckt. Für Lockersedimente ist der kf-Wert grundsätzlich größer als null. Für Steinsalz liegt dieser Wert jedoch nahe bei null ($n \cdot 10^{\exp-21}$ m/s, [19]).

Ein andere Betrachtungsweise der Durchlässigkeit macht sich für ihre Charakterisierung unter natürlichen ungestörten Bedingungen (in-situ) erforderlich. Hierzu sind Untersuchungen ab der räumlichen Größenordnung mehrerer Kubikmeter notwendig. Die oben angeführten kf-Werte für Lockersedimente stellen eine relativ gute Näherung an die realen Verhältnisse dar. Im Fall fester Gesteine (z. B. Tonsteine, kristalline Gesteine) ist generell eine Durchlässigkeit aufgrund ihrer Sprödigkeit im Zusammenhang mit tektonischer Beanspruchung zu erwarten. Die dadurch bedingte Klüftigkeit verursacht eine Gebirgsdurchlässigkeit bzw. ermöglicht Wasserwegsamkeiten, welche unter Feldbedingungen quantifiziert werden können (verschiedene Tests wie Pumpversuche, sog. Tracerversuche, Gestängelifttests u. a.).

Festigkeit, Verformungsverhalten, Hohlraumstabilität, In-situ-Spannungen

Auch hinsichtlich dieser Kriterien belegt das Steinsalz Rang 1. Aufgrund ihres Verformungsverhaltens reagieren salzführende Strukturen auf tektonische Beanspruchung besonders in zentralen Bereichen nicht wie andere Festgesteine mit der Bildung von Kluftsystemen, sondern gleichen diese mit plastischer Deformation aller möglichen Art und Größenordnungen aus. Deshalb ist das Durchfließen beispielsweise von Salzstöcken durch Grundwässer über Klüftung o. ä., wie es sich Laien häufig vorstellen oder ihnen vermittelt wird, unvorstellbar bzw. nicht möglich. Jedoch können Wassereinbrüche im Salzbergbau durchaus eintreten. Dies kann der Fall sein, wenn der Rohstoffabbau z. B. nicht fachgerecht (Raubbau) erfolgte: Die erforderliche Stärke der Sicherheitspfeiler und ihre Abstände untereinander wurden beispielsweise nicht eingehalten. Es kommt zu Einbrüchen bis hin zu obertägig wirksamen Tagesbrüchen. Oder es wurde z. B. eine Höchstabbaumächtigkeit zum Hangenden (d. h. oben liegenden) grundwasserführenden Stockwerk nicht eingehalten, so dass es nachfolgend zu gefährlichen Wassereinbrüchen kommen kann.

6. Der Salzstock von Gorleben als möglicher Standort für ein Endlager

Für ein besseres Verständnis bestimmter Teile des nachfolgenden Textes ist es ratsam, wenigstens die oben angeführten Arbeiten von BRÄUER (2009) und BORNEMANN et al. (2007) gelesen zu haben.

Zur Geschichte

Die Auswahl des Standorts erfolgte seit 1974 in zwei Verfahren (s. Tab. 2). Unter dem damaligen niedersächsischen Ministerpräsidenten Ernst Albrecht (CDU) fiel sie schließlich im Jahr 1977 auf Gorleben.

Die Erkundung des Salzstocks bezüglich seiner Eignung als Endlager begann im Jahre 1979. Die Untersuchungsarbeiten wurden im Oktober 2000 durch das BMU unter der damaligen rot-grünen Regierung unterbrochen. Das „Erkundungsmoratorium“, welches zur Klärung konzeptioneller und sicherheitsbezogener Fragen genutzt werden sollte, wurde von der Bundesregierung (nun schwarz-gelb) im März 2010 aufgehoben. Das Bundesumweltministerium veranlasste damit die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), die Erkundung des Standorts weiter zu führen. Demnach ist weiter zu untersuchen, ob der Salzstock Gorleben für eine Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle geeignet ist. Die Weitererkundung startete im November 2010. Außerdem soll auf der Grundlage bereits vorhandener Untersuchungsergebnisse in Form einer vorläufigen Sicherheitsanalyse sowie einem nachfolgenden internationalen Peer-Review-Verfahren ermittelt werden, ob im Salzstock Gorleben ein Endlager errichtet werden kann [6]. In Tab. 2 ist Chronologie des Werdegangs der Auswahl des Standorts Gorleben wiedergegeben [19].

Tab. 2: Chronologie der Standortauswahl (nach HAMMER et al. [19])

Jahr	Vorgang	Bemerkungen
1955	Genfer UN-Konferenz zur friedlichen Nutzung der Kernenergie – Vorschlag zur Nutzung von Salzformationen zur Endlagerung (Theis 1956)	<u>Gründe für die Empfehlung von Salz als Endlager-Wirtsgestein:</u> sehr geringe Wassergehalte im Salz, insbesondere im Zentralbereich von Salzstöcken; Homogenität des Zentralbereiches v. Salzstöcken durch Salzaufstieg (gute Prognostizierbarkeit); plastisches Verhalten von Steinsalz gewährleistet Verheilen von Klüften und dichten Abschluss d. Abfälle (kein Wasserzutritt von außen); bis ins 19. Jhd. zurückreichende Erfahrungen im Salzerbergbau; hohe Standsicherheit untertägiger Hohlräume (ohne speziellen Ausbau); hohe Wärmeleitfähigkeit des Salzes (kein Wärmestau, geringerer Volumenbedarf für Endlager-Bergwerk)
1957	Amerikanische Akademie der Wissenschaften – Salzformationen besonders für die Endlagerung radioaktiver Abfälle geeignet; Start umfangreicher Forschungsprogramme	
1959	Bundesanstalt für Bodenforschung Hannover empfiehlt die Einlagerung radioaktiver Abfälle in Salzformationen (Wagner & Richter 1960)	
1961	Deutsche Atomkommission legt fest, dass Endlagerung untertägig erfolgen soll und empfiehlt dafür Salzlagerstätten, beschließt Bau einer Prototypkaverne und vergibt umfangreiche Forschungsaufträge	
1963	Bundesministerium für wissenschaftliche Forschung beauftragt die Bundesanstalt für Bodenforschung mit der Ausweisung von Salzvorkommen, die zur Aussolung von Kavernen zwecks Endlagerung radioaktiver Abfälle geeignet sind	<u>Standortauswahlkriterien nach RICHTER-BERNBURG & HOFRICHTER (1964):</u> 400 – 500 m Mächtigkeit d. Salzformation; „einigermaßen“ homogenes Steinsalz (ohne mächtige Einschaltungen v. Carnallit oder Anhydrit); ausreichende Größe (horizontale Erstreckung); Oberfl. d. Salzkörpers 300 – 800 m u. Flur; wenig permeables Deckgebirge (bessere Einbindung der Verrohrung); gute Verkehrsanbindung; Nachbarschaft zu geplanten Reaktorstandorten. Detaillierte Bewertung von 7 Salzstrukturen: keine systematische Analyse aller im Untergrund vorkommenden Salzlagerstätten; besonders geeignet: Krummen-deich u. Bunde/Jemgum
1964	Studie der Bundesanstalt für Bodenforschung zu geeigneten Salzvorkommen (Richter-Bernburg & Hofrichter 1964)	
1965	Kauf der Asse (bei Wolfenbüttel) als Forschungsbergwerk, u.a. zur Errichtung einer Prototypkaverne	
1966	endgültige Aufgabe des Standorts Bunde/Jemgum	
1967	Start des Versuchsprogramms zur Einlagerung schwach radioaktiver Abfälle in die Asse	
Ende 1960-er/ Anfang 1970-er	Ende der 1960-iger/Anfang der 1970-iger Jahre – mehrere Gutachten der BGR und des NLFb: Niedersachsen aus geologischer und raumordnerischer Sicht am besten als Endlagerstandort geeignet	
1973	Start des Standortauswahlverfahrens des Bundes für ein „ Nukleares Entsorgungszentrum “ (NEZ - Wiederaufarbeitung, Konditionierung und Endlagerung)	

Fortsetzung Tab. 2

Jahr	Vorgang	Bemerkungen
1973	Auftragsvergabe durch BMFT an „Kernbrennstoff- Wiederaufbereitungs-Gesellschaft (KEWA)“; Schwerpunkt: möglichst umweltschonender Betrieb der (übertägigen) Wiederaufbereitungs- und Konditionierungsanlagen; Endlager – zusätzliche Option, d. h. auch Berücksichtigung von Standorten ohne Endlagerpotenzial	KEWA-Auswahlverfahren: Phase 1 (Großraumuntersuchungen – Auswahl von 26 Standorten; Ausschluss Salzstock Gorleben – aufgrund von raumordnerischen Kriterien, die für ein Endlager in tiefen geologischen Formationen nicht relevant sind); Phase 2 (Regionaluntersuchungen und Standortzwischenbewertung – Reduzierung auf 10 Standorte); Phase 3 (Detailuntersuchungen – Reduzierung durch Gutachten auf 4 Standorte) <u>KEWA-Auswahlkriterien:</u> Hydrologie (Nähe zu Vorfluter); Hydrogeologie (Grundwasserentnahme ca. 6 Mio. m ³ /a); Erdbebengefährdung; Baugrundbeschaffenheit; Geologie (Stauhorizonte); Möglichkeit zur Anlage von Salzkaavernen; Vorhandensein von Porenspeichern
Winter 1973/74	Zusage des niedersächsischen Ministerpräsidenten (Kubel, SPD) für „Integriertes Nukleares Entsorgungszentrum“ in Niedersachsen	
1976	<u>Standortauswahlverfahren des Landes Niedersachsen</u> Einrichtung einer interministeriellen Arbeitsgruppe (Vertreter der Ministerien für Wirtschaft, Soziales, Inneres und Landwirtschaft plus Staatskanzlei plus Vertreter Fachbehörden)	Ausgangssituation: Endlagerung erfolgt in einem Salzstock; Endlagerstandort bestimmt NEZ-Standort; Veränderungen in Auswahlkriterien und ihrer Wichtung; umfangreiche Erfahrungen aus Auswahlverfahren des Bundes; umfangreichere Kenntnisse zu Salzstrukturen
1977	KEWA-Bericht: die ursprünglich gewählten Standorte sind nach wie vor als sehr günstig anzusehen, aber aus dem Auswahlverfahren wurden perspektivische Standorte allein aus raumordnerischen Gründen ausgeschlossen (z. B. Gorleben)	
1977 bis 1979	Standortauswahlverfahren des Landes Niedersachsen – Phase 1	Prämisse: das Endlagerpotential (der Salzstock) am Standort ist die maßgebliche Komponente des NEZ; Prüfung von 140 Salzstöcken nach einem 3 x 4 km großem Standortgelände oberhalb des Salzstockes; Resultat: Reduzierung auf 23 Standorte
	Standortauswahlverfahren des Landes Niedersachsen – Phase 2	Reduzierung der 23 Standorte (Phase 1) auf 13 Standorte Standorte aus KEWA-Studie (Auswahlverfahren des Bundes) wurden in das Auswahlverfahren des Landes mit einbezogen
	Standortauswahlverfahren des Landes Niedersachsen – Phase 3	Reduzierung der 13 Standorte (Phase 2) auf 4 Standorte
	Standortauswahlverfahren des Landes Niedersachsen – Phase 4	Detailbewertung der Salzstöcke Wahn, Lichtenhorst, Gorleben und Höfer (Mariagluck); Resultat: Empfehlung für Gorleben:- Keine konkurrierende Nutzung; Größe ca. 40 km ² ; Tiefenlage zwischen ca. 300 und 3500 m unter GOK; Unverritztheit (d.h. bergbaulich nicht berührt)
1977	22.02. -Die Landesregierung Niedersachsens erklärt ihre Bereitschaft, Anträge zur Errichtung des NEZ am Standort Gorleben zu prüfen. 05.07. -Die Bundesregierung akzeptiert die Vorauswahl des Standorts Gorleben für das NEZ und beauftragt die PTB, ein Planfeststellungsverfahren für die Endlagerung radioaktiver Abfälle am Standort Gorleben einzuleiten. 28.07. -Antrag auf Einleitung des Planfeststellungsverfahrens	
1979	Beginn der Erkundung des Standorts Gorleben	

Aus Tab. 2 geht u. a. hervor, dass die Wahl auf den Standort Gorleben nicht auf geradlinigem Weg erfolgte, was im Laufe der Zeit auch dem Zugewinn neuer Erkenntnisse sowie in diesem Zusammenhang neuer Gesichtspunkte geschuldet war. Zusammenfassend lässt sich anhand von Tab. 2 konstatieren [19]:

- Das in den 70-iger Jahren durchgeführte Endlager-Standortauswahlverfahren basierte auf Erfahrungen und Ergebnissen von mehreren, wissenschaftlich begleiteten Suchverfahren in den 1960-iger und 1970-iger Jahren.
- Die verschiedenen Auswahlverfahren bauten z. T. inhaltlich und methodisch aufeinander auf. Ergebnisse früherer Auswahlverfahren wurden in nachfolgenden Studien z. T. weitergenutzt.
- Alle Auswahlverfahren stützten sich auf vorab festgelegte, z. T. unterschiedliche Auswahlkriterien, wobei neben geologischen auch sozialwissenschaftliche Standortanforderungen zum Ansatz kamen.

Innerhalb der Zeit der Aufrechterhaltung des Moratoriums wurden bis heute von der BGR u. a. vier Berichte zur Beschreibung des Standorts vorgelegt. Folgende Ergebnisberichte sind erschienen:

Teil 1: Die Hydrogeologie des Deckgebirges des Salzstocks Gorleben (2007) [8]

Teil 2: Die Geologie des Deckgebirges des Salzstocks Gorleben (2007) [9]

Teil 3: Ergebnisse der über- und untertägigen Erkundung des Salinars (2008) [10]

Teil 4: Geotechnical exploration of the Gorleben salt dome (2011) (in engl. Sprache) [11]

Die genannten ersten drei Berichte sind im Geologischen Jahrbuch veröffentlicht (E. Schweizerbart'-sche Verlagsbuchhandlung). Teil 4 ist über die Website der BGR als PDF-Datei wie auch die anderen drei Teile abrufbar.

Die genannten Abhandlungen sind der Fachliteratur zuzuordnen. Auch für Geowissenschaftler, die nicht spezialisiert sind auf dem Gebiet salzführender Ablagerungen, bedarf die Erlangung eines weitgehenden Verständnisses des dargebotenen Materials einiger Anstrengungen. Die Lektüre dieser Werke erwies sich für Laien als ein äußerst mühseliges Unterfangen, könnte für diese gar irreführend sein und ist deshalb nicht empfehlenswert. Eine entsprechende Aufarbeitung dieses Materials für die Öffentlichkeit u. a. auch für Politiker als Entscheidungsträger ist demzufolge objektiv erforderlich.

7. Die geologischen Verhältnisse im Bereich des Salzstocks von Gorleben [8, 9, 10]

Gorleben gehört zum Kreis Lüchow-Dannenberg im Bundesland Niedersachsen. Der Ort befindet sich im äußersten östlichen Zipfel im Norden von Niedersachsen am Südufer der Elbe und grenzt in unmittelbarer Nähe an das Bundesland Brandenburg. Der Salzstock von Gorleben liegt ca. 2 km südlich der Ortschaft Gorleben (s. Abb. 1).

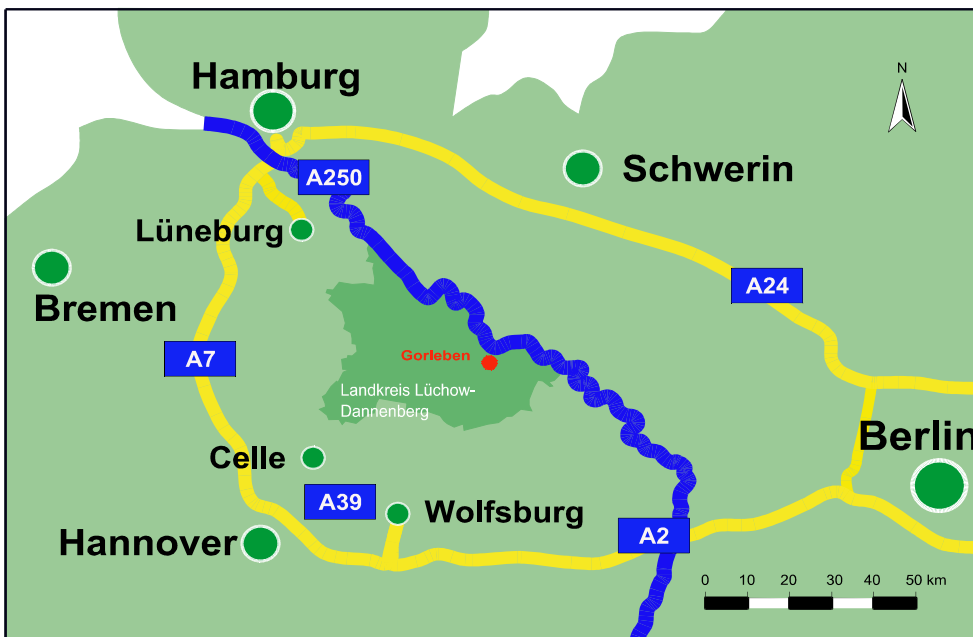


Abb. 1: Geografische Übersicht

Nachfolgend wird der Versuch unternommen, die geologische Entwicklungsgeschichte der letzten 260 Millionen Jahre der Region um Gorleben in aller Kürze verständlich darzustellen. (Dazu können die im Anhang befindlichen geochronologischen Tabellen herangezogen werden.)

Regionalgeologisch gehört das Gebiet zur so genannten Norddeutsch-Polnischen Senke (s. Abb. 2). Vor ca. 260 Millionen Jahren (Unterrotliegendes oder auch Autun bzw. Unterperm) herrschte eine von Vulkanismus geprägte Phase, infolge derer sich dominierend vulkanogene Ablagerungen (hauptsächlich saure bis intermediäre Vulkanite – Rhyolithe, Andesite, Tuffe u. a.) bildeten. Nach dieser Phase entstand das Germanische Becken – ein großes, relativ einheitliches und bis in das Neogen beständige Sedimentationsbecken. Hier erfolgte zunächst ein Eintrag von Material des Oberrotliegenden (Saxon). Das sind meist rötlich gefärbte Sedimente, was auf ein wüstenartiges Klima während der Ablagerung hinweist. Im Oberperm drang in das Becken das Zechstein-Meer ein.

Das Zechstein-Meer (Abb. 2) erstreckte sich über weite Teile Europas zwischen Polen und Großbritannien bis in den Süden Deutschlands. Bei heißem ariden Klima verdunstete in diesem flachen Meer ständig mehr Wasser als hinzu floss, so dass die darin gelösten Salze zur Ausfällung kamen. Im Resultat allmählicher permanenter Absenkung des Meeresbodens sowie ständiger periodischer Zufuhr von Meerwasser erreichten infolge der Ausfällung die so entstandenen Schichten sehr große Mächtigkeiten (über 1500 m im betrachteten Gebiet, s. Abb. 4). Aufgrund unterschiedlicher Löslichkeiten entstand eine gesetzmäßige Abfolge der Zechsteinschichten (Salztone, Karbonate, Sulfate, Steinsalze, Kalisalze). Diese Folge der Abscheidung wiederholte sich bis zu achtmal. Die Folgen erhielten ihre Bezeichnung nach geografischen Spezifika meist entsprechend der Geschichte ihrer erstmaligen umfassenden Beschreibung. Die Bezeichnungen der auch Salinare genannten zyklischen Ablagerungen sind folgende (zuerst ist die älteste aufgeführt):

1. Werra-Folge
2. Staßfurt-Folge
3. Leine-Folge
4. Aller-Folge
5. Ohre-Folge
6. Friesland-Folge
7. Fulda-Folge
8. Calvörde-Folge

Als untere Grenze der Zechsteinablagerungen gilt der Kupferschiefer – ein feinkörniges, organikführendes, metallhöffiges (Kupfer, Blei, Zink, Silber u. a.) marines Stillwassersediment, welches bis in die jüngste Vergangenheit in Deutschland Gegenstand bergbaulicher Tätigkeit war (Mansfelder Land) und ebenso eine künftige Rohstoffreserve darstellt (Lausitz).

Faktoren für die Formierung der Sedimente der einzelnen Zechsteinfolgen sind das ursprüngliche Relief ihrer Basis, eustatische Meeresspiegelschwankungen, der Gehalt des Meerwassers an gelösten Mineralien und die während der Sedimentation ablaufenden tektonischen Bewegungen. Das Zusammenspiel dieser Faktoren führte zu relativen Meeresspiegelschwankungen in der Größenordnung von 50 - 100 m [18].

Die Zechsteinsedimente wurden unmittelbar mit Beginn der Trias von den Ablagerungen des Buntsandsteins (schluffige, tonige, sandige Sedimente), des Muschelkalks und Keupers (Wechselagerung sandig-toniger, tonig-karbonatischer Bildungen) überdeckt. Im weiteren Verlauf der geologischen Entwicklung erfolgte die Ablagerung der Schichten des Jura (Lias - tonige, kalkige Bildungen; Dogger - Sandsteine, Tone, Mergel- und Kalksteine; Malm, Wealden - Kalksteine) und der Kreide (Unterkreide – vorwiegend tonig-sandige Sedimenten; Oberkreide - marine kalkige Ablagerungen). Die epikontinentalen Bildungen vom Zechstein bis zur Kreide bilden in strukturgeologischer Hinsicht das so genannte Tafeldeckgebirgsstockwerk.

Im Paläogen und Neogen (bis heute in Deutschland als „Fachvulgarismus“ als Tertiär bezeichnet) erfolgte, z. T. begleitet durch den Salzstockaufstieg, die Überdeckung der Salzstruktur mit Lockersedimenten bestehend aus einer Abfolge von mächtigen sandigen und tonigen Schichten. Oberhalb dieses Sedimentpaketes setzen sich Ablagerungen des Pleistozäns fort. Hierbei handelt es sich um Bildungen eines völlig anderen Plans im Gegensatz zu den vorangegangenen Perioden – Ablagerungen, die unter deutlich kühleren (eiszeitlichen) klimatischen Bedingungen entstanden. Die ältesten Sedimente dieser Periode sind im betrachteten Gebiet der Elsterkaltzeit (Pleistozän, Quartär – Kiese, Sande, Schluffe/Tone, Geschiebemergel) zuzuordnen, welche u. a. auch mit der Herausbildung von so genannten Rinnensystemen einherging, die mit ihrer erodierenden Wirkung z. T. die oberen Bereiche des Salzstocks erreichten (z. B. Gorlebener Rinne).

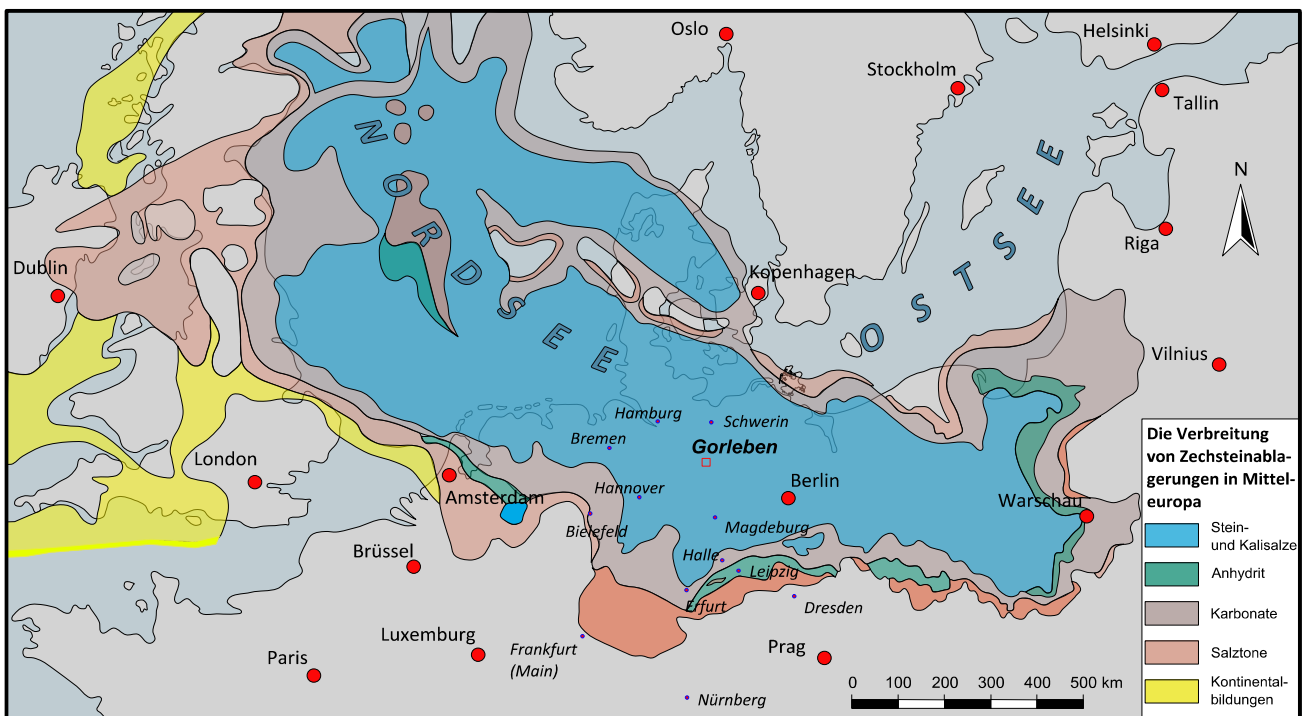


Abb. 2: Das Verbreitungsgebiet von Zechsteinablagerungen in Mitteleuropa [14, 19]

Weiter im Vertikalprofil folgen pleistozäne Sedimente der Saale- und Weichselkaltzeit als Komplexe aus Terrassenschottern, Geschiebemergeln und Schmelzwassersanden mit den jeweils der Elster- und Saalekaltzeit folgenden Warmzeitbildungen der Holstein- und Eemwarmzeit. Die jüngsten Sedimente sind holozäne Aufbildungen wie Lehme und Flusssande. Die Sedimente der geologischen Neuzeit (Känozoikum) werden nach strukturellen Aspekten dem Hüllstockwerk zugeordnet. (Die Verhältnisse der im Gebiet abgelagerten und bis heute erhaltenen Sedimentmächtigkeiten sind der im nachfolgenden Kapitel dargestellten Abb. 4 zu entnehmen.)

Zu den hydrogeologischen Bedingungen - also den Verhältnissen der Grundwasserführung sei bemerkt, dass innerhalb der aufgeführten Perioden Ablagerungen entstanden, die auf der Basis von Klüften (Festgesteine) und Porenräumen (sandig-kiesige Lockergesteine) mehr oder weniger grundwasserführend sind. Im Komplex mit grundwasserhemmenden Schichten bilden diese entsprechende Grundwasserstockwerke. Für den Hangenteil (oberer Teil) des Salzstocks ist das känozoische Grundwasserstockwerk (Komplex aus grundwasserführenden Kiesen und Sanden sowie grundwasserhemmenden schluffig-tonigen Lockersedimenten) von Wichtigkeit. Hinsichtlich seiner Wasserbilanz steht dieses Stockwerk in engem Zusammenhang mit dem hydrographischen System des in unmittelbarer Nähe befindlichen Elbelaufs.

8. Die Herausbildung des Salzstocks von Gorleben

Für die Genese der morphologischen Charakteristika des Salzstocks sind die besonderen rheologischen Eigenschaften der salzführenden Schichten von entscheidender Bedeutung. In Abb. 3 sind die auf dem Gebiet der Norddeutsch-Polnischen Senke vorkommenden Formen der salzführenden Zechsteinablagerungen dargestellt.

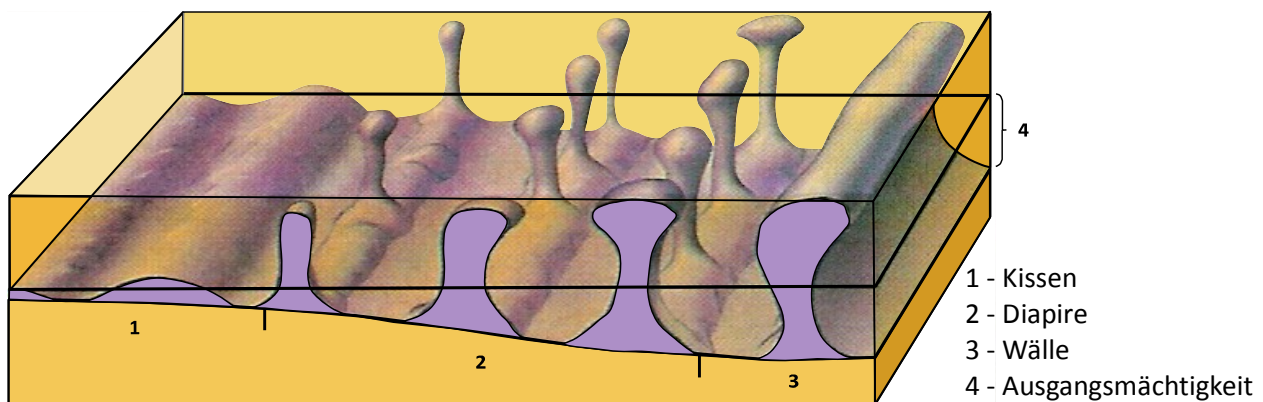


Abb. 3: Verschiedene Formen salzführender Zechsteinablagerungen (Oberperm) auf dem Gebiet der Norddeutsch-Polnischen Senke [7]

Die Entstehung der dargestellten Formen basiert auf der relativ geringen Dichte von Salzgesteinen sowie auf deren sich entwickelnder Plastizität unter der Wirkung erhöhter Drücke und Temperaturen. Auf diese Weise entstehen Formen von leichten Aufwölbungen (Kissen) bis hin zu Diapiren (Kuppeln, Dome bzw. Salzstöcke) und Wällen. Die Kuppeln durchstoßen mitunter die sie bedeckenden Schichten und können so bis zur Erdoberfläche gelangen. Die Hauptfaktoren für die Entstehung der in Abb. 3 gezeigten Strukturen sind die Gravitation und tektonische Sachverhalte. Der gravitative Faktor beruht auf der höheren Dichte der die Zechsteinablagerungen überdeckenden Schichten sowie Inhomogenitäten in der räumlichen Masseverteilung innerhalb dieser. Durch horizontale Verschiebungen und damit entstehenden seitlichen Druck kann eine Aufpressung der Zechsteinschichten erfolgen. Vertikale Bewegungen, die wie auch die horizontalen bereits im vorhandenen tektonischen Muster des Untergrundes angelegt sind, verstärken die Inhomogenitäten in den Deckschichten bzw. können sie verursachen. In Abb. 4 wird die Entwicklung des Salzstocks von Gorleben in Raum und Zeit in Form von Paläostrukturschnitten illustriert.

Da sich einerseits bei der Aufpressung positive Reliefformen herausbildeten, wanderte das Salz andererseits bei nachfolgenden tektonischen Impulsen aus Gebieten hoher Druckbeanspruchung aus. Es kam hier zu Schichtausdünnungen in den so genannten Randsenken und im Extremfall zu totaler Salzabwanderung. Durch die Löslichkeit der Stein- und Kalisalze und auch der Sulfate kommt es bis heute in bestimmten Bereichen zur Ablaugung (Subrosion). Im Topbereich des Salzstocks Gorleben wurde eine Ablaugungsrate von 0,02 mm/a ermittelt (BORNEMANN et al. 2008). Die Auflösung der Salzgesteine kann ein Massendefizit im Untergrund zur Folge haben. Im Resultat können sich Auslaugungssenken an der Oberfläche bemerkbar machen, die ihrerseits Sedimentationsräume für Ablagerungen bis in die heutige Zeit böten. Am Standort Gorleben sind jedoch derartige Erscheinungen nicht feststellbar.

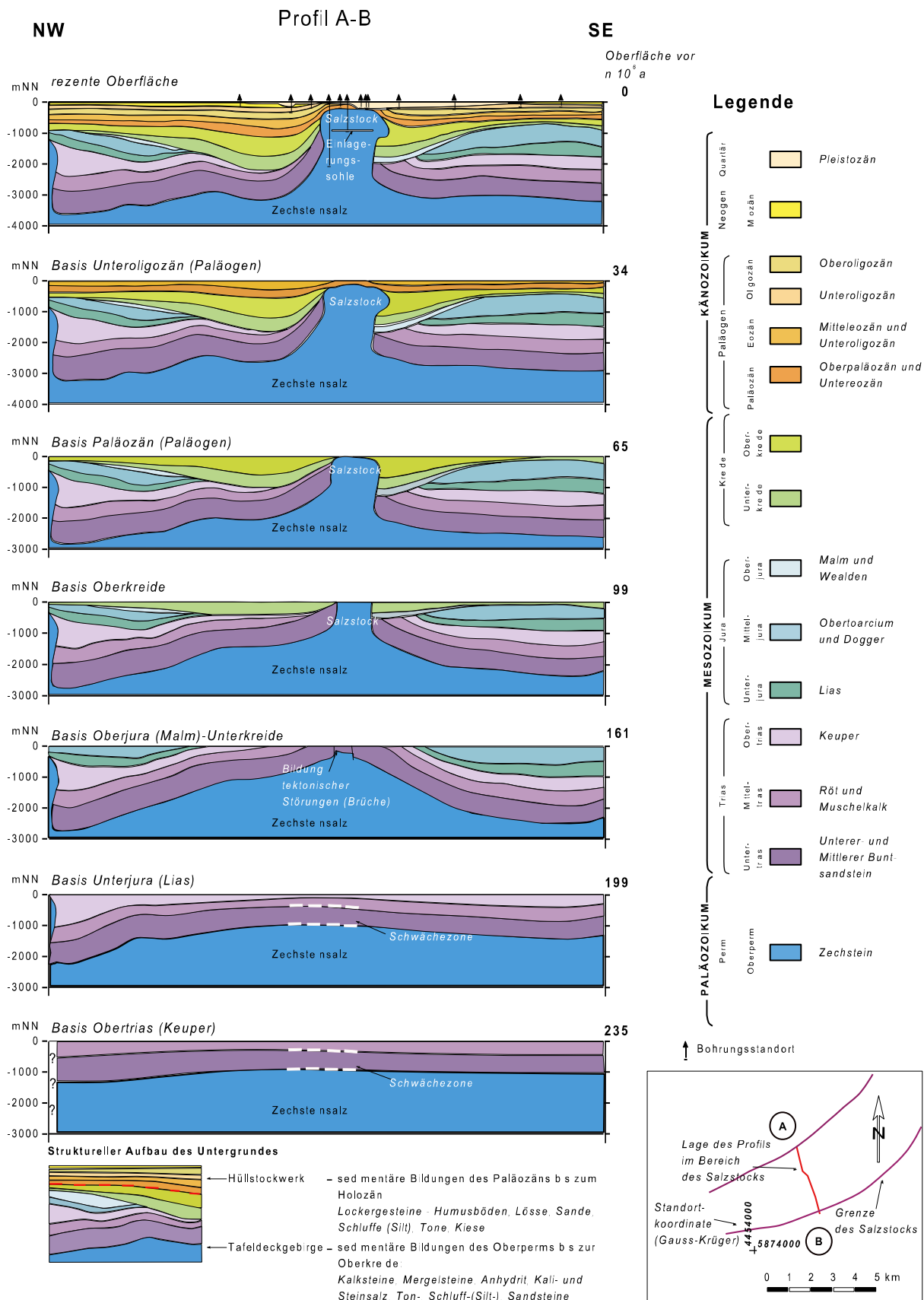


Abb. 4: Paläostrukturschnitte - die Entwicklung des Salzstocks von Gorleben (nach BORNEMANN et al. 2008)

Im direkten Kontakt mit grundwasserführenden Schichten entstehen Auslaugungsbereiche auch in den oberen Teilen der Salzstöcke. Dort bilden sich Hutgesteine (oder auch Gipshüte genannt), die hauptsächlich aus den Mineralen Anhydrit und Gips als Lösungsrückstand bestehen (Residualgesteine). Diese Hutgesteine schützen dann ihrerseits zeitweise die Salzablagerungen vor weiterer Auflösung. In Abb. 5 ist der Salzstock detaillierter einschließlich der räumlichen Lage des Hutgesteins dargestellt.

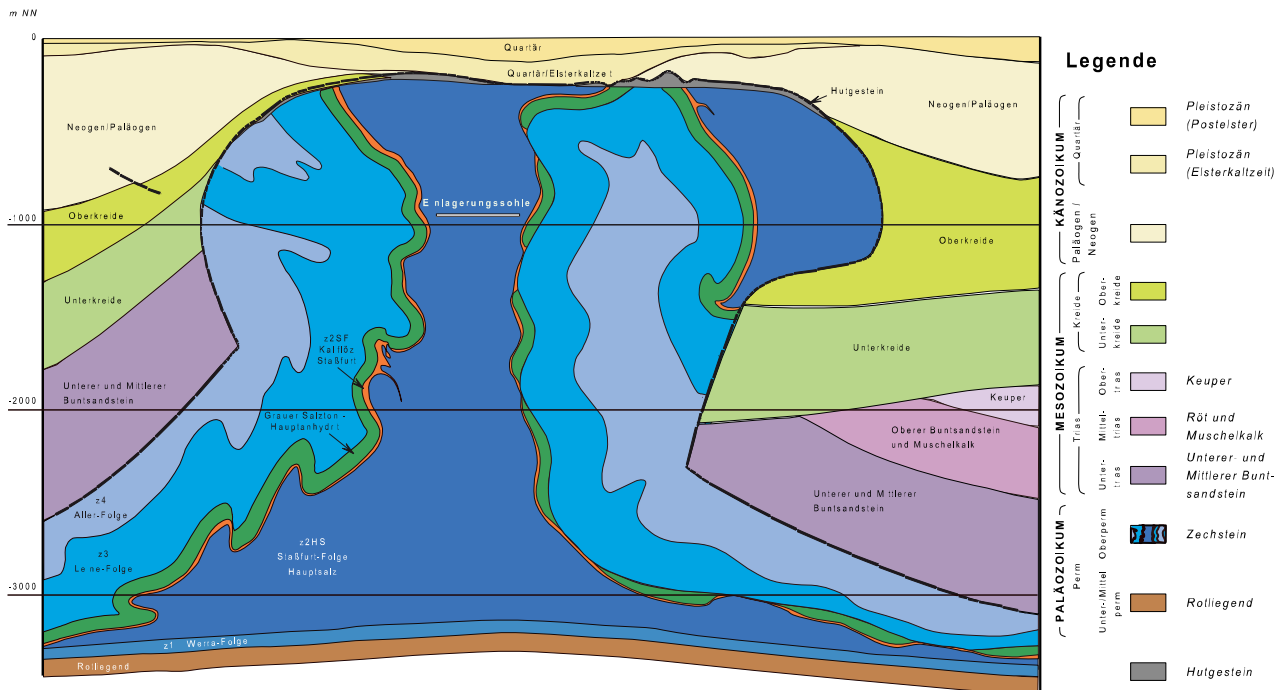


Abb. 5: Schematischer Schnitt durch den Salzstock Gorleben (nach BORNEMANN 1991, [13])
(der Hauptanhydrit ist vereinfacht als durchgängiges Band dargestellt)

Seit der Existenz des Salzstocks gab es mehrere Phasen der Bildung und Abtragung des Hutgesteins (z. B. Bildung des Hutgesteins im Mittleren Mesozoikum (nach dem Buntsandstein)/mittelmesozoische Erosion des Hutgesteins (nach der Unterkreide); Weiterentwicklung des Hutgesteins zu Beginn des Känozoikums (Ende des Eozäns); Erosion in der Elsterkaltzeit/Bildung der Hutgesteinsbrekzie; Entwicklung von Hutgestein seit der Elsterkaltzeit bis heute).

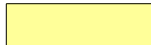
9. Bergbauliche Aspekte der Endlagerung

In Deutschland kann man auf eine viele Jahrhunderte alte fast beispiellose Bergbautradition zurückblicken. Trotz rückläufiger Tendenzen im Bergwesen vor allem im Tiefbau verfügt man nach wie vor über ein umfangreiches Know-how in der Bergbauführung. So sind die Durchsetzung von Prinzipien der Arbeitssicherheit und des Gesundheitsschutzes im aktuellen deutschen Bergbau für andere Industriezweige sowie international beispielgebend, was, nebenbei gesagt, u. a. ein Grund für die oft zu beobachtende Konkurrenzunfähigkeit einheimischer Rohstoffe ist bzw. den Einsatz von Hochtechnologien im Bergbau erzwingt. Mit Tab. 3 wird ein Überblick über bergbauliche Aspekte im Vergleich zur entsprechenden Nutzung verschiedener Wirtsgesteine gegeben.

Tab. 3: Eckpunkte der Endlagerkonzepte in unterschiedlichen Wirtsgesteinen [15]

Komponenten	Steinsalz	Ton/Tonstein	Kristallingestein (z. B. Granit)
Einlagerungssohle	ca. 900 m	ca. 500 m	500 - 1200 m
Lagerungstechnik*	Strecken und tiefe Bohrlöcher	Strecken bzw. kurze Bohrlöcher	Bohrlöcher oder Strecken
Auslegungstemperatur	max. 200° C	max. 100° C	max. 100° C ¹ (Bentonitversatz)
Versatzmaterial* ¹	Salzgrus	¹ Bentonit	¹ Bentonit
Zwischenlagerzeit	(BE u. HAW-Kokillen) min. 15 Jahre	min. 30 - 40 Jahre	min. 30 - 40 Jahre
Streckenausbau ¹	nicht erforderlich	erforderlich, ggf. sehr aufwändig	in stark geklüfteten Bereichen erforderlich
Behälterkonzept	vorhanden	für Deutschland neu zu entwickeln	für Deutschland neu zu entwickeln
Bergbauerfahrung	sehr groß (Salzbergbau)	kaum	groß (Erzbergbau)

* wird an das jeweilige Wirtsgestein angepasst

 günstige Eigenschaft
  ungünstige Eigenschaft
  mittel
¹

(Als **Versatz** wird die nachträgliche Auffüllung bergbaulich geschaffener Hohlräume bezeichnet; **Strecken** sind bergbauliche Hohlräume, die im Rohstoffkörper entlang seiner Erstreckung geführt werden und keinen Zugang zur Tagesoberfläche aufweisen im Gegensatz zu Stollen, welche von der Tagesoberfläche aus befahren werden können; **Bentonit** - ein quellfähiges Tonmineral)

10. Kritiken an der Eignung des Standorts Gorleben als atomares Endlager

Als politisches Argument wird von den Gegnern des Standorts ins Feld geführt, dass Gorleben nicht die erste Wahl sei. Die Untersuchung anderer, als günstiger eingeschätzte Standorte sei Anfang der 1970-iger Jahre nicht etwa wegen ihrer Ungeeignetheit, sondern aufgrund von Bürgerprotesten nicht weiter verfolgt worden. Außerdem hätte es keine Kriterien für die Festlegung des Standorts Gorleben gegeben, sondern wurden erst nach der Standortfestlegung "verabredet". Die Sicherheitsanforderungen an ein Endlager seien erst in dieser Legislaturperiode formuliert worden, so wider besseren Wissens in seiner damaligen Eigenschaft als Bundesumweltminister S. Gabriel am 02.11.2007 in Lüchow [19]. Die politische Gegenargumente lassen sich schon anhand der in Tab. 2 aufgeführten Fakten weitgehend ad absurdum führen.

Von den „fachlichen“ Kritikern der Eignung des Standorts als atomares Endlager werden folgende Hauptargumente ins Feld geführt:

1. Es wird befürchtet, dass über den Kontakt des Salzstocks im Topbereich besonders im Raum der Ausbildung der elsterkaltzeitlichen Gorlebener Rinne, wo das obere Grundwasserstockwerk (lokal begrenzt) mit dem Salzstock in direkter Verbindung steht, sich Auslaugungen mit anschließender Hohlraumbildung entwickeln können, was zu Einstürzen führen und so gleichzeitig auch mit radioaktivem Material kontaminiertes Grundwasser in die Biosphäre gelangen könne. Als eine relevante Wegsamkeit für das Eindringen von Wasser in den Salzstock wird der Hauptanhydrit angesehen.

2. Es wird bemängelt, dass der Salzstock von Gaseinschlüssen und flüssigen Kohlenwasserstoffen durchsetzt sei. Bei der Einlagerung von wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen können sich Risse u. ä. bilden, welche Wegsamkeiten für Fluide darstellten und sie auch freisetzen. Dadurch bestünde ein hohes Potential an Explosionsgefahr. Die Fluide gelangten in der Frühphase der Salzstockbildung über zeitlich nur kurz geöffnete Klüfte aus kohlenwasserstoffführenden Schichten des Rotliegenden (Unterperm) aus mehr als 3000 m Tiefe in den Salzstock.

Die vorhergehend dargestellten Auffassungen werden auch von einigen Geologen vertreten. Das wird zumindest von manchen Medien u. a. dazu kritisch auftretenden Organisationen so dargestellt besonders hinsichtlich eines scheinbar kompetenten Opponenten, der vor ca. 25 Jahren an der Erkundung des Deckgebirges des Salzstocks teilnahm. Er wird beispielsweise vom ZDF (Pro und Contra, Sendung vom 4.11.2010) dem Zuschauer als Geologe und emeritierten Professor vorgestellt. Ungeachtet dessen - ein Fall unvollständiger Fachkompetenz. Ansonsten hätten damals sich im Rahmen der Erkundung ergebene Sachverhalte keineswegs und auch nicht bis heute seine Verwunderung hervorgerufen.

Der unter Punkt 1 gezeigten Argumentation gegen die Eignung des Standorts lässt sich relativ leicht mit Hilfe der bereits unter Kap. 7 und 8 geäußerten Darlegungen widersprechen. Allein die in Abb. 4 illustrierte Entwicklung der Salzstruktur von Gorleben zeigt überzeugend, was mit ihren zentralen Partien im Verlauf von mehr als 200 Millionen Jahren geschehen ist – nämlich nichts außer Deformation. Als „böses“ Beispiel für obertägige Einbrüche infolge untertägiger Auslaugungen wird der im Osten der Salzstruktur befindliche Rambow-See genannt. Eine ähnliche Genese hat auch der Arendsee, welcher sich im äußersten Norden von Sachsen-Anhalt in relativer Nähe zum betrachteten Raum befindet. Mit ca. 50 m Tiefe zählt er zu den tiefsten natürlichen Seen Norddeutschlands. „Erstaunlicherweise“ führen beide Seen weder Salzwässer noch weisen sie eine erhöhte Mineralisation auf...

Die zweite Hauptkritik am Standort bezieht sich auf die Gasführung innerhalb der Salzstruktur. Das Vorkommen geringfügiger Mengen an Gasen als syngenetische Füllung von kleinen Hohlräumen oder ineffektiven Porenräumen aus dem Zechstein selbst ist seit langem bekannt. Bergbauunfälle katastrophaler Ausmaße sind in diesem Zusammenhang jedoch völlig unbekannt. Das Argumentieren über die Gefährlichkeit von Gasen aus dem tieferen Untergrund ist aus professioneller Sicht schlichtweg unseriös, stümperhaft. Es gehört zu geologischen Lehrbuchweisheiten, dass das Vorkommen von Salzlagern mit Erdgashöflichkeit im Nebengebirge (oft unter Überhängen von Salzstöcken) einhergehen kann, stellt ein Suchkriterium dar, eben weil salzführende Formationen für Fluide undurchlässig sind.

11. Fazit

Wahrlich, es hat den Anschein, dass der Standort Gorleben vorrangig aus politischen Gründen zur Auswahl kam. Man sehe sich nur die geografische Lage von Gorleben an! In den 1970-er Jahren „tobte“ noch der kalte Krieg...In diesem Zusammenhang wäre vorstellbar, dass der Standort Gorleben nicht die erste Wahl hätte darstellen können. Dem ist jedoch nicht so (s. Tab. 2). Dies ist außerdem keinesfalls ein ernsthaftes Kriterium für eine generelle Nichteignung des Standorts als atomares Endlager. Andererseits wurden immerhin für die Erkundung des Standorts Milliardenausgaben aus Rücklagen der Atomenergieerzeuger getätigt. Auch das Moratorium hatte über 10 Jahre lang seinen jährlichen Preis von ca. 22 Millionen Euro.

Selbst wenn sich erwiese, dass der Standort Gorleben als atomares Endlager nicht optimal wäre (was keineswegs heißen sollte, dass er generell nicht geeignet sei), so scheint m. E. das Prinzip, dass es für alle sachlichen Probleme eine optimale ingenieurtechnische Lösung gibt, im Fall Gorleben wenig bzw. nicht erschöpfende Anwendung zu finden. Hiermit sind vor allem die Möglichkeiten der Herstellung verschiedener technischer Barrieren gemeint, wie es beispielsweise in der bundesdeutschen Abfallwirtschaft z. B. bei der Errichtung von Sondermülldeponien bisher geübte Praxis war und auch im internationalen Maßstab als äußerst vorbildlich gilt.

Bei intensiverer Beschäftigung mit der vorliegenden Materie unter ständigen Bemühungen Neutralität zu wahren, eigene Voreingenommenheit zu unterdrücken, gelang es mir jedoch nicht, mich des Eindrucks zu erwehren, dass bestimmte Personen, bestimmte Kreise wahrscheinlich aus persönlichem Profilierungsdruck heraus sowie auf jeden Fall aus Gründen politischen Kalküls mit dem Ziel politischer Machtausübung und Einflussnahme, objektiv betrachtet, auf meist unkonstruktive Weise permanent bestrebt sind, ganz fadenscheinig und häufig fachlich absurde „Haare in der Suppe“ aufzuzeigen. Das Fatale besteht hier darin, dass mit dieser demagogischen Art und Weise auf gesellschaftlicher Basis ganz offensichtlich erfolgreich politische Mehrheiten zu erringen sind.

Das letzte Wort über die Eignung oder Nichteignung des Standorts Gorleben sollte hierzu jedoch den Spezialisten - den Projektanten, den Erkundern, den Auswertern der Untersuchungsergebnisse usw. gehören unter der Bedingung, dass dazu eine sachliche Aufklärung der Öffentlichkeit erfolgte und auch sachlich möglich wäre, infolge derer ein weitgehender gesellschaftlicher Konsens erzielt werden könnte. Aber dies scheint in Deutschland gegenwärtig eine utopische Idealvorstellung zu sein...

Mit der Erarbeitung des vorliegenden Aufsatzes innerhalb der gegebenen Zeit tat ich mich vor allem deshalb schwer, weil sich die Materie als sehr vielschichtig und umfangreich erwies. Außerdem hatte ich ständig das Gefühl im Nacken, einer Verantwortung, einem quasi Versprechen nicht gerecht werden zu können, ohnmächtig zu sein, einerseits angesichts der von anderen über einige Jahrzehnte geleisteten Detailarbeiten, den dabei angehäuften immensen Datenmengen, die mühevoll zu einem plausiblen Großen und Ganzen zusammengesetzt werden müssen. Andererseits dachte ich ständig an die sich in der Mehrheit befindenden Opponenten, wie schwer man sich dort wohl erfahrungsgemäß ernsthaften Argumenten gegenüber täte..?

Der gesellschaftliche Hintergrund ist besonders in Deutschland von politischen Weichenstellungen der nationalen Energiepolitik und einer paradoxerweise damit im Einklang stehenden vorherrschenden öffentlichen Meinung geprägt, die fast hoffnungslos von einer absurden, eigentlich perfiden Ideologie der Dekarbonisierung sowie einer aktionistisch betriebenen Politik physikalisch unsinnig so genannter erneuerbarer Energien indoktriniert scheint. Gleichzeitig grassiert weltweit eine Finanz- und Wirtschaftskrise. Das ist die Ausgangssituation, in der weitere Untersuchungsarbeiten am Salzstock Gorleben und damit zusammenhängende grundlegende Entscheidungen in naher Zukunft bevorstehen. Wie werden die Würfel fallen? Es ist abzuwarten! Bleibt zu hoffen übrig, dass in der Zukunft, was in der Menschheitsgeschichte schon vorgekommen sein soll, die Nüchternheit über die Benommenheit, die Sachlichkeit über die Verbohrtheit, die Offenheit über die Beschränktheit, die Vernunft über die Dummheit, Wissen über Glauben letztendlich die Oberhand gewinnt.

Glück Auf!

12. Literatur/Quellen

[1] <http://www.3sat.de/page/?source=nano/umwelt/umwelt/147735/index.html>

[2] <http://www.n-tv.de/politik/Gabriel-verhindert-Erkundung-article421598.html>

[3] Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (AtG),
Stand 31.07.2011

[4] Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle, BMU,
Stand 30.06.2010

[5] http://de.wikipedia.org/wiki/Radioaktiver_Abfall

- [6] http://de.wikipedia.org/wiki/Atomlager_Gorleben
- [7] КОЗЛОВСКИЙ, Е. А. (ред.) (1989): Горная Энциклопедия.– Сов. Энци., т. 4, с.620; 623 с.; Москва
- [8] KLINGE, H.; BÖHME, J.; GRISSEMAN, CH.; HOUBEN G.; LUDWIG, R.-R.; RÜBEL, A.; SCHELKES, A.; SCHILDKNECHT, F.; SUCKOW, A. (2007): Description of the Gorleben site, Part 1- Hydrogeology of the overburden of the Gorleben salt dome.– BGR, 138 pp., www.bgr.bund.de; Hannover
- [9] KÖTHE, A.; HOFFMANN, N.; KRULL, P.; ZIRNGAST, M.; ZWIRNER, R. (2007): Description of the Gorleben site, Part 2- Geology of the overburden and adjoining rock of the Gorleben salt dome.– BGR, 213 pp., www.bgr.bund.de; Hannover
- [10] BORNEMANN, O.; BEHLAU, J.; FISCHBECK, R.; HAMMER, J.; JARITZ, W.; KELLER, S.; MINGERZAHN, G.; SCHRAMM, M. (2008): Description of the Gorleben site, Part 3-Results of the geological surface and underground exploration of the salt formation.– BGR, 213 pp., www.bgr.bund.de; Hannover
- [11] BRÄUER, V., EICKEMAIER, R., EISENBURGER, D., GRISSEMAN, CH., HESSER, J., HEUSERMANN, S., KAISER, D., NIPP, H.-K., NOWAK, TH., PLISCHKE, I., SCHNIER, H., SCHULZE, O., SÖNNKE, J., WEBER, J. (2011): Description of the Gorleben site, Part 4- Geotechnical exploration of the Gorleben salt dome.– BGR, 169 pp., www.bgr.bund.de; Hannover
- [12] BRÄUER, V. (2011): Die Geowissenschaften als Schlüssel zur sicheren Endlagerung radioaktiver Abfälle.– Gmit Nr. 43, März 2011, 14 S., www.gmit-online.de/geofokus-artikel, Geofokus
- [13] BORNEMANN, O. & FISCHBECK, R. (1991): Geologische Bearbeitung der Schächte 1 und 2 (Hutgestein und Salinar). 3. Zwischenbericht zum AP 9G 411210.– BGR, unpubl. Report Archiv-Nr. 109625: 31 pp., 14 Fig., 11 Apps.; Hannover
- [14] КОЗЛОВСКИЙ, Е. А. (ред.) (1991): Горная Энциклопедия.– Сов. Энци., т. 5, с.60; 541 с.; Москва
- [15] BGR (2007): Endlagerung radioaktiver Abfälle in Deutschland. Untersuchung und Bewertung von Regionen mit potenziell geeigneten Wirtsgesteinsformationen.– BGR, Hannover/Berlin
- [16] KOCKEL, F. & KRULL, P. (1995): Endlagerung stark wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands - Untersuchung und Bewertung von Salzformationen. – BGR-Bericht, 48 S., Hannover/Berlin.
- [17] BRÄUER, V., REH, M., SCHULZ, P., SCHUSTER, P. & SPRADO, K. H. (1994): Endlagerung stark wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands - Untersuchung und Bewertung von Regionen in nichtsalinaren Formationen. – BGR-Bericht, 147 S., Hannover.
- [18] RAPPSILBER, I. (2003): Struktur und Entwicklung des nördlichen Saale-Beckens (Sachsen-Anhalt): Geophysik und Geologie. – Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades doctor rerum naturalium (Dr. rer. nat.) vorgelegt an der Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, 117 S., 52 Abb., Halle (S.)
- [19] HAMMER, J. (2011): persönliche Mitteilung 09/2011

Anschrift des Autors: Dipl. Geol. Dr. B.Hartmann; Leipziger Str. 36, 06108 Halle (S.),
b.h.hartmann@googlemail.com

Anhang

Stratigraphische Tabellen für die känozoischen Ablagerungen im Gebiet Gorleben [9]

Alter in ka BP	Stratigraphie		Lithologie	max. Mächtigkeit
11,6	HOLOZÄN		Flugsand, Dünen, Auelehren, Auesand, Niedermoortorf	5 7
11,6	Weichsel-Kaltzeit	Jüngere Niederterasse	Flußsand	18
11,7		Ältere Niederterasse		19
128	Eem Warmzeit		Schluffmudde	4
128	Saale-Kaltzeit	Werthe-Stadium	Schmelzwassersand, Beckenschluff, Geschiebemergel	58 58
		Jüngeres Drenthe-Stadial	Schmelzwassersand, Beckenschluff	52
		Drenthe-Stadium	Schmelzwassersand, Beckenschluff, Geschiebemergel	142 99
		Älteres Drenthe-Stadial	Schmelzwassersand	
		Dömnitz-Warmzeit	nicht nachgewiesen	
240	Fuhne Kaltzeit		Flußsand, Schluff	13
370	Holstein Warmzeit		Schluff, Ton, Muddel, teilweise Sand und Torf	33
370	Elster-Kaltzeit	Jüngeres Elster (Elsterspat-glazial)	Sand, Lauenburger Ton-Komplex	50 149
		Haupt-Elster	Schmelzwassersand und Kies ("Rinnensand"), Geschiebemergel	108 69
			Schmelzwassersand und Kies ("Vorschüttungsand"), selten Beckenschluff	65
480	Cromer-Komplex	Bilshausen-Warmzeit		
		Rosmalen-Warmzeit	Wechselagerung von Schluff, Muddel, Torf und Sand	24
		Hunteburg-Warmzeit		
		Osterholz-Warmzeit		
780	Bavel-Komplex	Leerdam-Warmzeit		
		Bavel-Warmzeit		
1070	Menap Kaltzeit		Flußsand	69
2600	Prämenap		Schichtlücke	

Serie	Alter in Mio J.	Lithostratigraphie (Gorleben)	Foraminiforen	Kalk-nanno-plankton	Dino-zysten	max. Mächtigkeit
						RS ST
MIOZÄN	16,4	Ob. Braunk.-s., tmbS2			ob. Mittel- bis mittl. U.-Miozän	24 -
		Hamburg-Ton tmbH				102 66
		Untere Braunkohlensande tmbS1			D16	130 62
OLIGOZÄN	23,8	Neochatt-Schichten toLN	V. crista A. sublongica P. oblonga A. longica	NP 25	D15	41 14
		Eochatt-Schichten toLE		NP 24		109 34
	28,5	Rupelton toRK	Ob. Rupel Unt. Rupel	NP 23	nb na	203 76
	33,7	Neuengamm. Gess., toNG		NP 22	D13	12 8
			"Latdorf"	NP 21	nb na	102 49
EOZÄN	37,0	Ober-Eozän-Schichten teoo			D11 D10	
		Mittel-Eozän-Schichten teom		NP 17 NP 16 NP 15	D9	74 46
		Brüssel-Sand teomB		NP 13/14		58 47
	49,0	Unter-Eozän-Schichten teou	Unter-Eozän	NP 12	D8 nb	190 75
		Unter-Eozän-Schichten teou	Unter-Eozän		D7 nb D6 nb	
	54,8	Gartow-Sand, teouG			D5 nb	10 12
		Ober-Paläozän-Schichten tpao			nb na	40 54
PALÄOZÄN	60,9	U.-Paläozän-Sch., tpau	Ober-Dan		nb nc	- 1