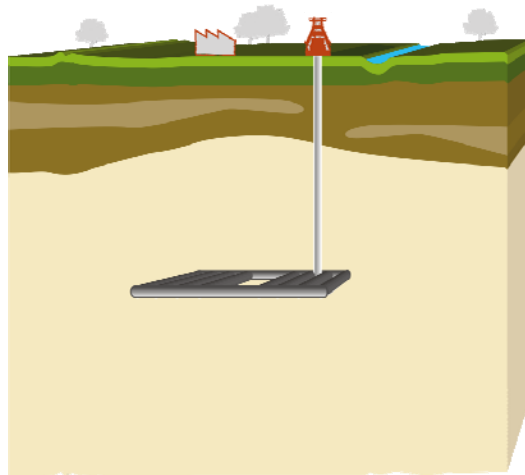


Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in Deutschland

Anhang Endlagerstandorte

Nationale und ausgewählte internationale Standorte bzw. Standortkandidaten



30.09.2008

Bearbeiter:

Brasser, T.

Droste, J.

**Braunschweig / Darmstadt
September 2008**

**Anhang zu GRS-247
ISBN 978-3-939355-22-9**

Das diesem Bericht zugrunde liegende FE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie unter den Kennzeichen 02E9783 und 02E9793 durchgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
2	Internationale Endlagerstandorte.....	5
2.1	Olkiluoto, Finnland	6
2.2	Yucca Mountain, USA	11
2.3	WIPP-Site, USA	14
3	Endlagerstandorte in Deutschland.....	21
3.1	Gorleben	21
3.2	Schachtanlage Konrad.....	30
3.3	Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben	35
4	Literatur.....	46
5	Weiterführende Literatur	52

1 Einleitung

Weltweit finden in verschiedenen Staaten Aktivitäten zur Endlagerung radioaktiver Abfälle statt. Diese Staaten sind in Tab. 1 zusammengestellt. Eine umfassende Übersicht über weltweite Endlageraktivitäten (inkl. Planung und Forschung) in mehr als 30 Staaten gibt derzeit der vierte Review „Geological Challenges in Radioactive Waste Isolation“ von /WIT 06/ (siehe auch /WIT 01/).

Tab. 1 Staaten mit Endlageraktivitäten für radioaktive Abfälle

Argentinien	Großbritannien	Niederlande	Spanien
Armenien	Indien	Polen	Südafrika
Belgien	Italien	Rumänien	Taiwan
Bulgarien	Japan	Russland	Tschechien
China	Kanada	Schweden	Ukraine
Deutschland	Korea	Schweiz	Ungarn
Finnland	Kroatien	Slowakei	USA
Frankreich	Litauen	Slowenien	Weißrussland

In den nachfolgenden beiden Kapiteln 2 und 3 wird auf verschiedene internationale und nationale Endlagerstandorte eingegangen,

- an denen bereits ein Endlager errichtet oder betrieben wird,
- die sich in der Erkundungs- bzw. Vorbereitungsphase befinden oder befunden haben oder
- die heute im Rahmen eines neu initiierten Standortauswahlverfahrens diskutiert werden.

In diesem Zusammenhang werden die allgemeine Situation am jeweiligen Standort beschrieben, die Entwicklung bis zum heutigen Status skizziert und die wesentlichen geologischen Randbedingungen und Konzepte dargestellt. Eine Beschränkung auf hochradioaktive Abfälle erfolgt dabei nicht, weil die den Projekten zugrunde liegenden Konzepte und die gewonnenen Erfahrungen für alle Kategorien radioaktiver Abfälle von Bedeutung sind.

Das erste in Deutschland nach Atomrecht genehmigte Endlager für radioaktive Abfälle ist das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM), dessen Einlagerungsbetrieb aber bereits eingestellt und für das ein Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung eingeleitet wurde.

Das ehemalige Forschungsbergwerk Asse diente im Wesentlichen der Bereitstellung wissenschaftlich abgesicherter Daten, insbesondere zur Handhabung von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen, aber auch zur Entwicklung bzw. Qualifizierung von Rechenmodellen zur Bewertung der Langzeitsicherheit eines geologischen Endlagers. Aufgrund des überwiegenden Forschungscharakters wird dieser Standort im Anhang „Untertagelabore“ behandelt.

Der Salzstock Gorleben wird auf seine Eignung für die Errichtung eines Endlagers für alle Arten radioaktiver Abfälle untersucht. Seit Oktober 2000 sind die Erkundungsarbeiten allerdings durch das zwischen der Bundesregierung und den Energieversorgungsunternehmen (EVU) vereinbarte Moratorium für einen Zeitraum zwischen drei und bis zu 10 Jahren unterbrochen.

Die Schachtanlage Konrad wurde im Jahr 2002 nach über zwanzigjährigem Verfahren als Endlager für Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung planfestgestellt.

2 Internationale Endlagerstandorte

In vielen Ländern mit Kernenergienutzung werden gegenwärtig Vorbereitungen für eine Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen bzw. abgebrannten Brennelementen getroffen. Hierbei besteht Konsens darüber, dass derartige Abfälle nur in tiefen geologischen Formationen sicher endgelagert werden können. Ein in Betrieb befindliches Endlager für hochradioaktive Abfälle existiert zum gegenwärtigen Zeitpunkt allerdings noch nirgends.

Weltweit sind bzw. waren jedoch schon verschiedene Endlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle in Betrieb (Tab. 2).

Tab. 2 Weltweit in Betrieb befindliche Endlager in geologischen Formationen /DEU 06/

Land	Endlager	Abfallart	Bemerkungen
Deutschland	Morsleben	schwach- und mittelaktiv	Einlagerung eingestellt
Finnland	Olkiluoto	schwach- und mittelaktiv	
Finnland	Loviisa	schwach- und mittelaktiv	
Norwegen	Himdalen	schwach- und mittelaktiv	
Rumänien	Baita-Bihor	schwach- und mittelaktiv	institutionelle Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung
Schweden	Forsmark	schwach- und mittelaktiv	
Tschechische Republik	Richard II	schwach- und mittelaktiv	
Tschechische Republik	Bratrstvi	schwach- und mittelaktiv	
USA	WIPP	Transurane aus militärischer Nutzung	

Viele nationale Entsorgungsprogramme sehen Untersuchungen in Untertagelabors (engl. Underground Research Laboratories, URL) vor, die zumeist in internationaler Kooperation durchgeführt werden (siehe Anhang „Untertagelabore“). Untertagelabore haben für die Realisierung eines Endlagers für radioaktive Abfälle in tiefen geologischen Formationen sowohl aus wissenschaftlicher als auch aus technischer Sicht große Bedeutung. In ihnen können umfassende Kenntnisse über das untertägige Milieu und das Verhalten sämtlicher Endlagerkomponenten (Abfall, technische, geotechni-

sche und geologische Barrieren) in diesem Milieu gewonnen werden, die zur Bewertung der Langzeitsicherheit eines Endlagers erforderlich sind.

Neben diesen Untertagelaboren existieren in der Zwischenzeit in verschiedenen Ländern auch bereits einzelne definierte Standorte (sog. „final disposal candidate sites“), an denen standortspezifische Untersuchungen zur Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen bzw. abgebrannten Brennelementen durchgeführt werden, wie

- Olkiluoto (Finnland),
- Oskarshamn (Schweden),
- Meuse - Haute Marne (Frankreich),
- Yucca Mountain (USA).

Am weitesten vorangeschritten ist der Prozess der Standorterkundung in Finnland und den USA. Daher werden die in diesen beiden Ländern ausgewiesenen Standorte Olkiluoto und Yucca Mountain im Folgenden näher beschrieben. Von den internationalen Endlagerstandorten für schwach- und mittelradioaktive Abfälle wird die sogenannte WIPP-Site in New Mexico, USA vorgestellt, da sie als weltweit erstes gezielt errichtetes und genehmigtes Endlager sowie aufgrund des Wirtsgesteins Salz auch eine Modellfunktion für die Bundesrepublik Deutschland hat.

2.1 Olkiluoto, Finnland

Die finnische Regierung legte bereits im Jahr 1983 die Zielsetzung und einen Zeitplan für ein nationales Programm zur Entsorgung der hochradioaktiven Abfälle fest, wonach bis zum Jahr 2020 mit der Einlagerung ausgedienter Brennelemente in einem untertägigen Endlager im tiefen geologischen Untergrund begonnen werden soll.

Anlagen für die Endlagerung von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen sind bereits seit den 1990er Jahren in Betrieb. Die Endlager befinden sich an den beiden finnischen Kernkraftwerksstandorten Olkiluoto und Loviisa (Abb. 1) in 60 bis 100 m Tiefe im kristallinen Grundgebirge. Am Standort des Kernkraftwerkes Olkiluoto wurde 1988 mit dem Bau des ersten finnischen Endlagers für schwach- und mittelradioaktive Abfälle begonnen. Genehmigung und Inbetriebnahme dieses Endlagers erfolgten 1992. Baubeginn für das Endlager am Standort des Kernkraftwerkes Loviisa war 1993, die Genehmigung zur Endlagerung schwach- und mittelradioaktiver Abfälle erfolgte 1998 und die

Inbetriebnahme des Endlagers 1999. Beide Endlager bestehen aus getrennten Lager- silos für schwach- und mittelradioaktive Abfälle, die nach ihrer Befüllung mit Betonplat- ten abgedeckt werden.

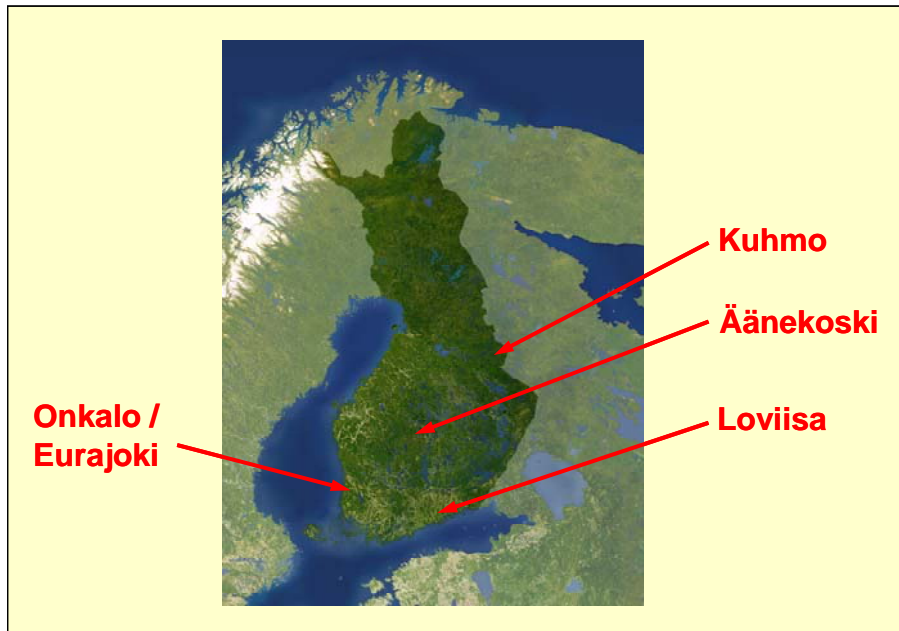


Abb. 1 Lage der erkundeten finnischen Standorte für die Endlagerung hochra- dioaktiver Abfälle Olkiluoto (Onkalo), Loviisa, Kuhmo und Äänekoski (Bild: Posiva)

Die in den Kernkraftwerken anfallenden abgebrannten Brennelemente wurden bis 1996 nach Russland (bzw. die UdSSR) verbracht. Aus politischen und ethischen Gründen wurde diese Lösung jedoch vom finnischen Parlament verworfen und der Im- und Ex- port radioaktiver Abfälle im Rahmen einer Ergänzung des finnischen Kernenergiege- setzes im Jahr 1994 verboten. In Finnland erzeugter radioaktiver Abfall muss nun in Finnland behandelt, zwischengelagert und endgelagert werden. Nach dieser Geset- zesänderung gründeten die beiden finnischen Betreibergesellschaften „Teollisuuden Voima Oy“ und „Fortum Power and Heat Oy“ im Jahr 1995 das gemeinsame Unter- nehmen „Posiva Oy“, um die Zuständigkeiten für die Endlagerung in einer Endlagerge- sellschaft zu bündeln.

Das finnische Entsorgungskonzept für die Endlagerung abgebrannter Brennelemente sieht eine geologische Tief Lagerung im kristallinen Grundgebirge vor. Das Standort- auswahlverfahren für ein Endlager erfolgt in einem mehrstufigen Prozess /POS 00/:

1. Konzeption und Planung („Conceptual and planning stage“),
2. Bestandsaufnahme des Arbeitsgebietes („Area survey stage“),
3. Standortcharakterisierung („Site characterization stage“),
4. Standortbestätigung („Site confirmation stage“).

Das kristalline Grundgebirge steht in Finnland über große Flächen praktisch ohne Sedimentüberdeckung an der Erdoberfläche an. Daher kamen für eine geologische Tief- lagerung von wärmeentwickelnden Abfällen zahlreiche Standorte in Frage. Nach einer ersten Standortcharakterisierung in den 1980er Jahren erfolgte eine Vorauswahl der vier möglichen Standorte Olkiluoto, Loviisa, Kuhmo und Äänekoski (Abb. 1), an denen in den 1990er Jahren übertägige Standortuntersuchungen, eine Umweltverträglichkeitsstudie (Environmental Impact Assessment, EIA) und Sicherheitsanalysen zur Ermittlung des geeigneten Endlagerstandortes durchgeführt wurden.

Im Mai 1999 legte Posiva Oy der finnischen Regierung einen Antrag zur Benennung des Standortes Olkiluoto in der Gemeinde Eurajoki als Endlager für abgebrannte Brennelemente vor. Die Auswahl des Standortes Olkiluoto erfolgte auf Grund seiner geologischen Eignung, der Akzeptanz in der lokalen Bevölkerung sowie der Realisierbarkeit unter Umweltgesichtspunkten und technischen Aspekten. Nach Zustimmung der zuständigen Aufsichtsbehörde für Strahlenschutz und nukleare Sicherheit (STUK) und der Standortgemeinde Eurajoki (mit 20 gegen 7 Stimmen) traf die Regierung im Dezember 2000 den im finnischen Kernenergiegesetz geforderten Grundsatzentscheid in Form einer so genannten „Decision-in-Principle“ (DiP). Die Entscheidung für Olkiluoto als Standort für die Entsorgung der hochradioaktiven Abfälle aus den vier finnischen Kernkraftwerken wurde im Mai 2001 vom finnischen Parlament mit 159 gegen 3 Stimmen ratifiziert.

Nach der Genehmigung des Standortes wurde im Juni 2004 als erster Schritt zur Realisierung des Endlagers mit dem Bau des untertägigen Felslabors ONKALO begonnen. Mit Hilfe dieses Felslabors sollen die geologischen Verhältnisse unter Tage umfassend erkundet werden. Abb. 2 zeigt den geologischen Aufbau am Standort Olkiluoto. In der geologischen Karte sind die verschiedenen Gesteine des kristallinen Grundgebirges dargestellt (mehrere Gneistypen mit unterschiedlichem Metamorphosegrad, pegmatitischer Granit, Diabas).

Für das Felslabor ONKALO sollen bis zum Jahr 2011 eine Zugangsstrecke von der Erdoberfläche mit einer Gesamtlänge von 5,5 km, ein Ventilationsschacht sowie zwei Sohlen für Forschungszwecke in 420 m bzw. 520 m Tiefe aufgefahren werden (Abb. 3), die später Bestandteil des Endlagers werden (Abb. 4). Ende April 2008 waren planmäßig ca. 3 km der Zugangsstrecke von der Oberfläche bis in eine Tiefe von ca. 280 m aufgefahren.

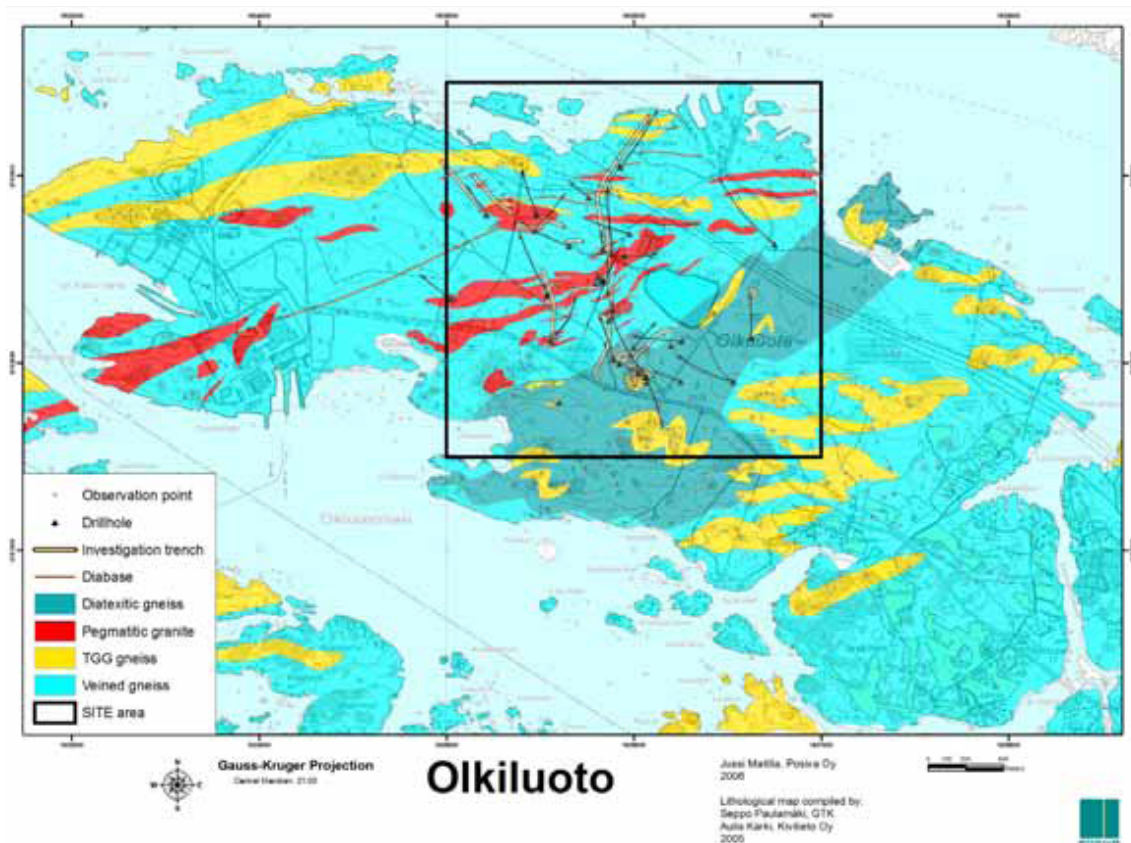


Abb. 2 Geologische Karte von Olkiluoto, Finnland mit dem engeren Standortbereich (schwarzes Rechteck) /AND 07/. Das kristalline Grundgebirge umfasst mehrere Gneistypen (blau und gelb), einen pegmatitischen Granit (rot) und Diabasgänge (schwarz)

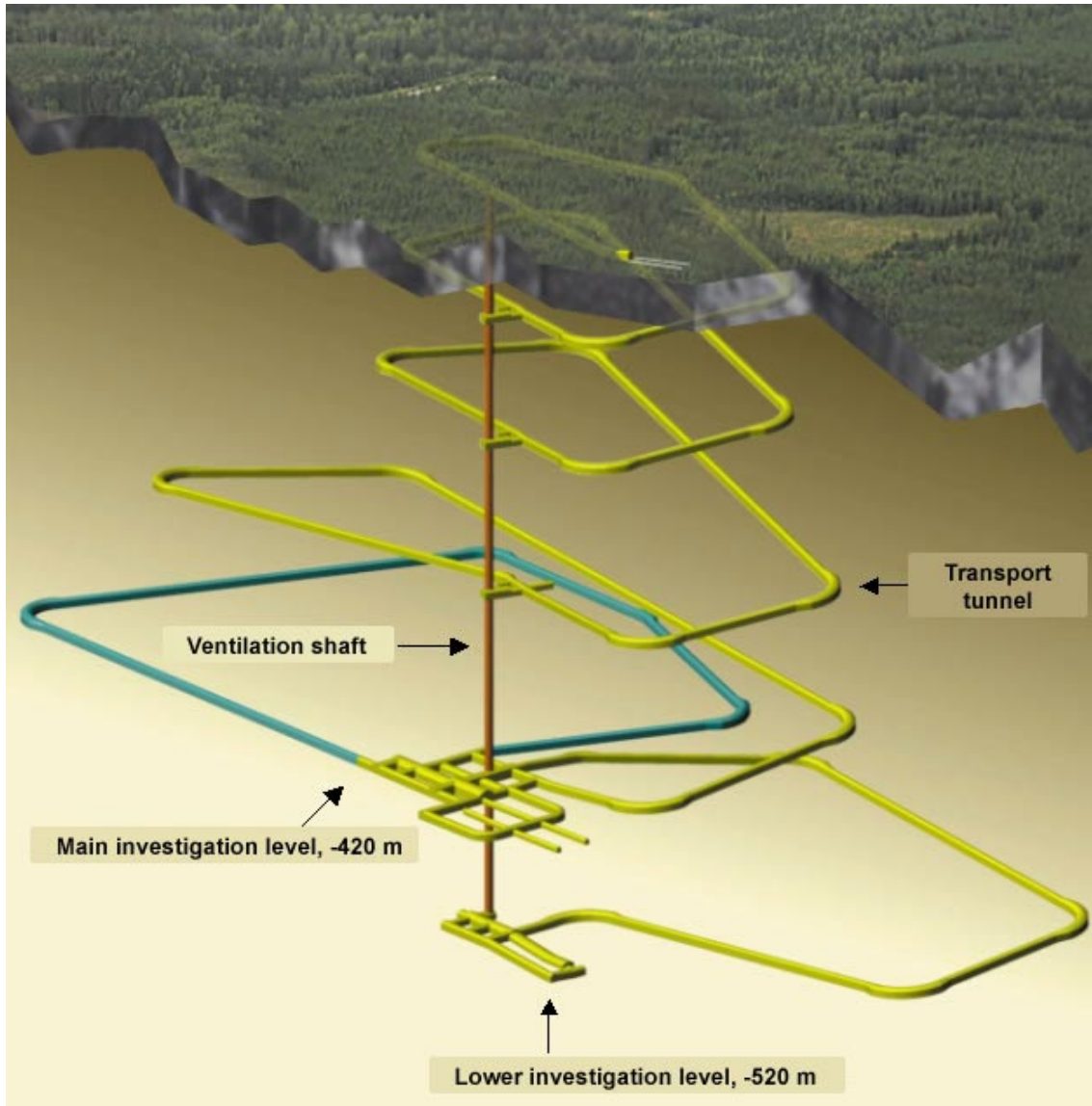


Abb. 3 Ansicht des in Bau befindlichen Forschungsbergwerkes ONKALO am Standort Olkiluoto /POS 08/

Im Niveau der beiden Forschungssohlen sollen während des Baus und nach der Fertigstellung von ONKALO geologische, geophysikalische, gesteinsmechanische und geochemische Untersuchungen zur Eignung des Gesteins durchgeführt und die Einlagerungstechniken vor Beginn der Einlagerung unter realen Bedingungen getestet werden. Auf Grundlage der Untersuchungsergebnisse soll im Jahr 2012 der Bauantrag für das eigentliche Endlager gestellt werden. Das Endlager soll im Jahr 2020 in Betrieb gehen und die abgebrannten Brennelemente aller finnischen Kernkraftwerke mit ca. 6.500 t Uran aufnehmen /POS 08/.

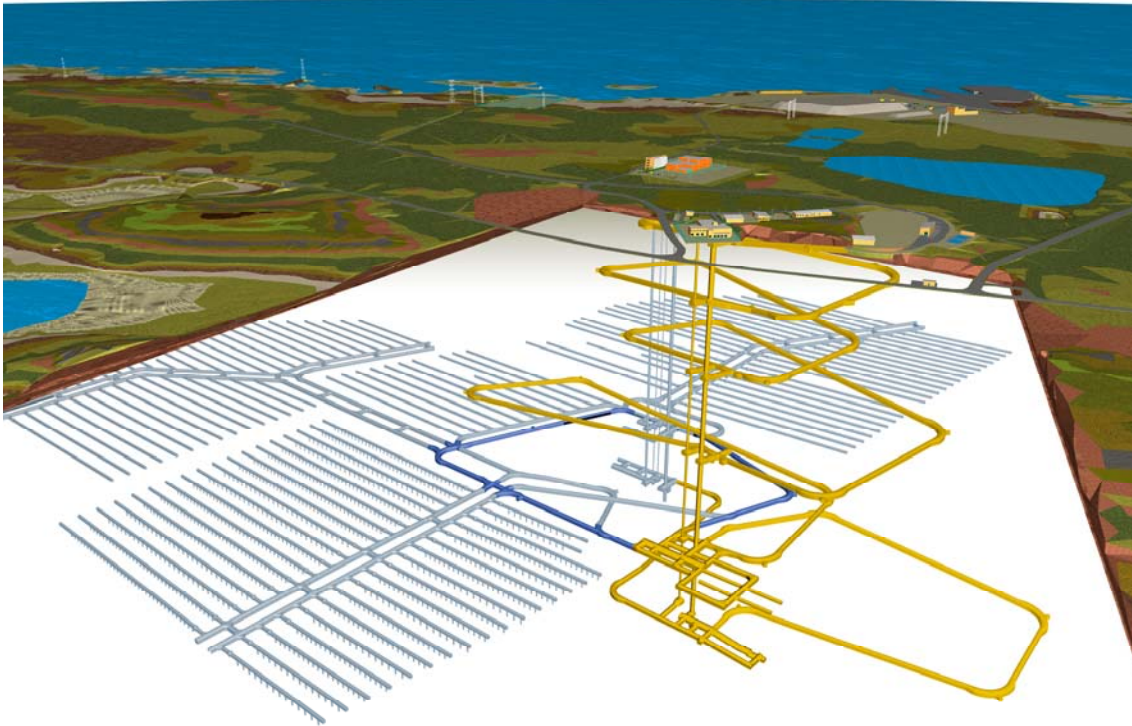


Abb. 4 Ansicht des geplanten Endlagers für abgebrannte Brennelemente am Standort Olkiluoto, Finnland /POS 07/

2.2 Yucca Mountain, USA

Das Konzept eines geologischen Endlagers in den USA ist auf eine Empfehlung der National Academy of Sciences aus dem Jahr 1957 zurückzuführen. 1983 wurden vom zuständigen „Department of Energy“ (DOE) auf der Grundlage einer vorangegangenen 10-jährigen Datenerhebung neun Standorte in sechs Bundesstaaten als mögliche Endlagerstandorte ausgewählt, die in der Folgezeit näher bewertet wurden. Die Ergebnisse dieser vorläufigen Studien wurden 1985 veröffentlicht und bildeten die Basis für die Genehmigung durch den damaligen US-Präsidenten, drei Standorte einer intensiven wissenschaftlichen Untersuchung („site characterisation“) zu unterziehen. Diese Standorte waren Hanford (Washington), Deaf Smith County (Texas) und Yucca Mountain (Nevada).

1987 wurde der „Nuclear Waste Policy Act“ aus dem Jahr 1982 vom Kongress dahingehend geändert, dass DOE angewiesen wurde, nur noch den Standort Yucca Mountain (Abb. 5) als mögliches Endlager für hochradioaktive Abfälle zu untersuchen. Für

den Fall, dass sich dieser Standort im Zuge der Untersuchungen als ungeeignet herausstellen sollte, wurde eine neuerliche Entscheidung des Kongresses vorgesehen.

Ausschlaggebend für die Auswahl des Standortes Yucca Mountain waren dessen trockenes Klima, seine Abgeschlossenheit, stabile geologische Verhältnisse, eine tiefe Grundwasseroberfläche sowie die Lage in einer geschlossenen Beckenstruktur.

Der Yucca Mountain besteht im Wesentlichen aus miozänen vulkanischen Tuffen, die vor ca. 11 - 14 Millionen Jahren abgelagert wurden. Die Tuffe wurden seit der Ablagerung nur wenig verändert. Das Gefährdungspotenzial des Standortes durch vulkanische Aktivitäten, Erosion oder andere geologische Prozesse ist äußerst gering. Die geologischen Verhältnisse mit dem geplanten Endlager sind in Abb. 6 dargestellt. Durch die Positionierung des Endlagers in ca. 300 m Tiefe unter der Erdoberfläche und 300 m oberhalb des Grundwasserspiegels werden die eingelagerten Abfälle vor Einwirkungen durch Erdbeben geschützt.

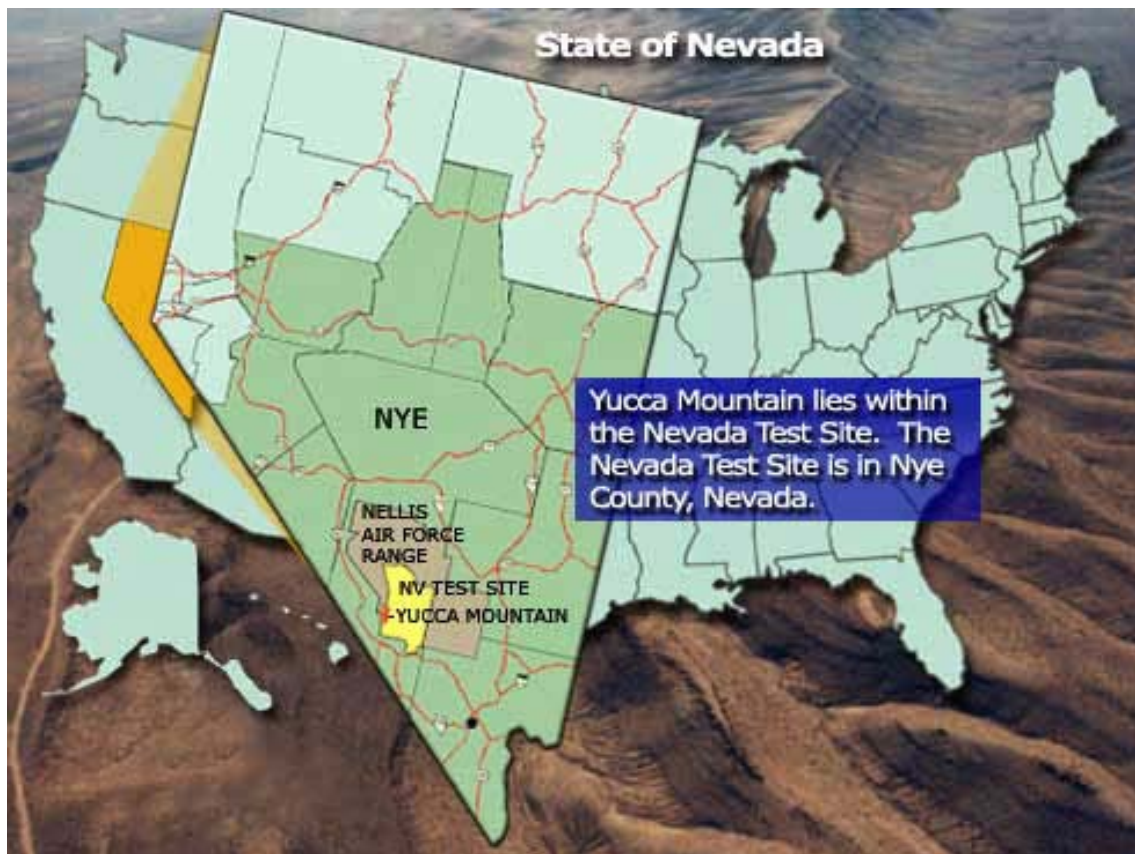


Abb. 5 Lage des Endlagerstandortes Yucca Mountain in den USA /DOE 06/

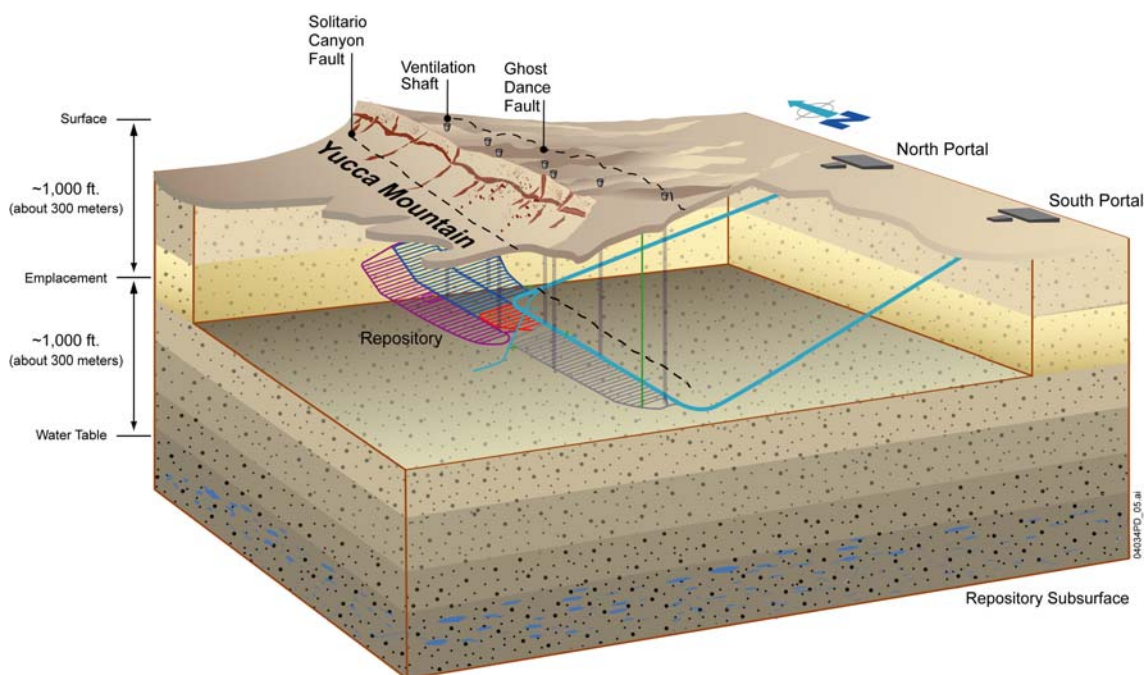


Abb. 6 Prinzipskizze des geplanten Endlagers am Standort Yucca Mountain mit den geologischen Verhältnissen und den geplanten Einlagerungsbereichen /DOE 08a/

Die durchschnittliche Jahresniederschlagshöhe liegt unter 20 mm (zum Vergleich: Bundesrepublik Deutschland ca. 760 mm); hiervon fließt der überwiegende Teil (95 %) oberflächlich ab oder verdunstet. Die Versickerungsgeschwindigkeit der verbleibenden 5 % des Jahresniederschlages ist gering (ca. 1 cm/a). Aufgrund der geschlossenen Beckenstruktur ist es nicht möglich, dass Grundwasser aus dem Bereich unterhalb des Endlagers in Aquifersysteme gelangt, die zur Trinkwasserversorgung der Bevölkerung im weiteren Umkreis des Endlagers genutzt werden.

Im Jahr 1993 wurde mit dem Bau eines Untertagelabors zur Standortcharakterisierung und zur Entwicklung eines Endlagerkonzeptes begonnen. Im Dezember 1997 begannen die ersten untertägigen In-situ-Experimente mit einem Aufheizversuch zur Simulation der Streckenlagerung wärmeentwickelnder Abfälle. In der Folgezeit erfolgten Infiltrationstests, Laboruntersuchungen und Modellrechnungen sowie Vergleiche mit natürlichen Analoga. Die Arbeiten zur Standortcharakterisierung wurden 2002 abgeschlossen /NEA 02/. Im Rahmen der Standortentscheidung wurde vom DOE auch eine Umweltverträglichkeitsprüfung („Environmental Impact Statement“, EIS) durchgeführt /DOE 02/.

Im Juli 2002 wurde vom US-Präsidenten ein Gesetz zur Errichtung eines zentralen geologischen Endlagers am Yucca Mountain in Kraft gesetzt, das sämtliche in den USA anfallenden abgebrannten Brennelemente und hochradioaktiven Abfälle aufnehmen soll. Im Juli 2004 wurde diese Genehmigung durch das US-Appellationsgericht in Washington, D.C. in einer Grundsatzentscheidung bestätigt und alle Einsprüche zurückgewiesen. Die US-Umweltschutzbehörde „Environmental Protection Agency“ (EPA) wurde jedoch aufgefordert, ihre Sicherheitsanforderungen über den Zeitraum von 10.000 Jahren hinaus zu erweitern, um die Einhaltung der von der „National Academy of Sciences“ (NAS) empfohlenen Standards zu gewährleisten. Im August 2005 wurden von der EPA neue Standards herausgegeben /EPA 05/. Danach ist in den ersten 10.000 Jahren nach Schließung des Endlagers ein Emissionsgrenzwert von 0,15 mSv/a einzuhalten, für den Zeitraum von 10.000 bis 1.000.000 Jahren ein Grenzwert von 3,5 mSv/a.

Für die weitere Genehmigungsprozedur ist ein stufenweises Verfahren vorgesehen:

- DOE beantragt als Antragsteller bei der zuständigen Genehmigungsbehörde „US-Nuclear Regulatory Commission“ (NRC) die Genehmigung zum Bau des Endlagers. Dieser Genehmigungsantrag wird gegenwärtig vorbereitet und soll zum 30. Juni 2008 bei der Genehmigungsbehörde eingereicht werden.
- Nach der Fertigstellung des Endlagers wird DOE den Antrag auf den Betrieb des Endlagers erweitern. Mit der Einlagerung soll im Jahr 2017 begonnen werden.
- Nach Beendigung der Einlagerung, die sich über einen Zeitraum zwischen 50 und 300 Jahren erstrecken soll, ist eine neuerliche Antragserweiterung für die Schließung des Endlagers erforderlich.

2.3 WIPP-Site, USA

Bereits in den 1950er Jahren wurde in den USA mit der Suche nach stabilen geologischen Formationen begonnen, die geeignet sind, radioaktive Abfälle für lange Zeiträume zu isolieren. Vertreter des Kalibergbaus bei Carlsbad, New Mexico (Abb. 7) waren bereits 1955 im „Committee on Waste Disposal“ der „National Academy of Sciences“ vertreten, das im Jahr 1957 die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in Salzablagerungen als aussichtsreichste Entsorgungsoption auswies.



Abb. 7 Lage des Endlagerstandortes WIPP in den USA /REM 06/

Am 10.12.1961 wurde in derselben Steinsalzformation, in der sich heute die „Waste Isolation Pilot Plant“ (WIPP) befindet, in 360 m Tiefe ein unterirdischer Kernwaffenversuch, das sog. „Gnome-Experiment“, durchgeführt. Bei diesem Kernwaffentest wurden weder in den Kalibergwerken, noch in Öl- und Gasförderbohrungen, noch in den benachbarten Carlsbader Höhlen Effekte durch seismische Erschütterungen registriert.

Im Jahr 1974 wurden die Salzformationen bei Carlsbad, in denen das Salzgestein in flacher Lagerung vorliegt, von der „Atomic Energy Commission“ (AEC) für Vorerkundungsarbeiten zur Suche nach einem geeigneten Endlager für radioaktive Abfälle ausgewählt. Die übertägigen Erkundungsarbeiten am Standort der sog. „WIPP-Site“ ergaben, dass das Steinsalz der permischen Salado-Formation über 600 m mächtig ist (Abb. 8). Die wesentliche geologische Barrierefunktion kann vom Wirtsgestein selbst erfüllt werden. Der Einlagerungshorizont („WIPP-Horizon“) wird von über 300 m Steinsalz und weiteren 300 m nichtsalinärer Deckgebirgsschichten überlagert, die das Endlager von der Erdoberfläche trennen. Der Einlagerungshorizont stand seit 250 Millionen Jahren nicht in Kontakt mit dem Grundwasser. Die gesamte Salzmächtigkeit am Standort der WIPP-Site (Salado- und unterlagernde Castile-Formation) beläuft sich auf über 1.000 m.

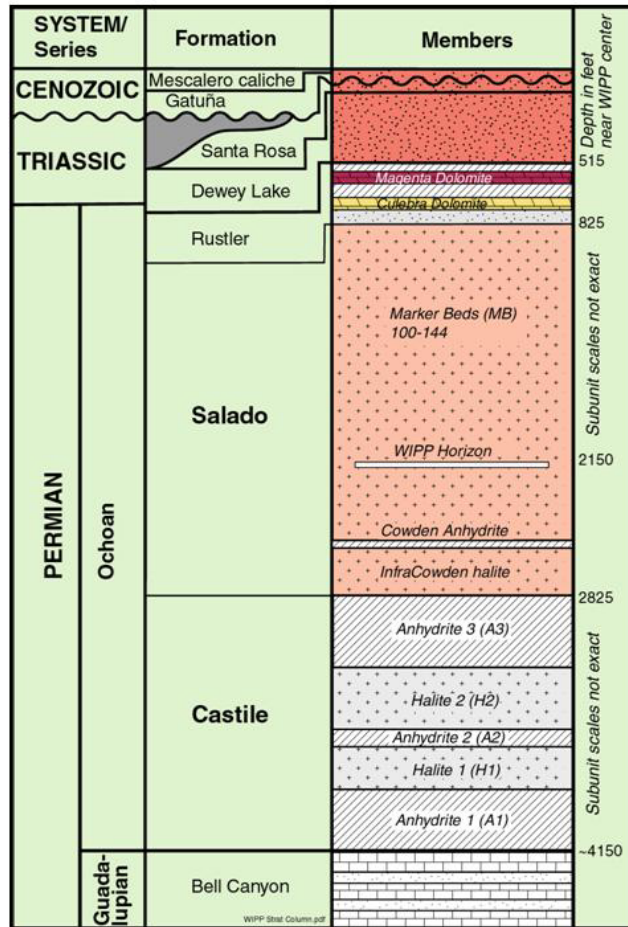


Abb. 8 Stratigraphische Abfolge am Standort der WIPP-Site /POW 07/. Die Position des Endlagers innerhalb der ca. 600 m mächtigen permischen Salado-Formation ist mit „WIPP-Horizon“ bezeichnet.

Nach erfolgreichen übertägigen Erkundungsarbeiten genehmigte der US-Kongress im Jahr 1979 die „Waste Isolation Pilot Plant“ als untertägiges Forschungs- und Entwicklungslabor, um die sichere Endlagerung von Transuranabfällen (TRU) und Mischabfällen aus der US-Kernwaffenproduktion zu demonstrieren. Diese Abfälle fallen nicht in den Zuständigkeitsbereich der „Nuclear Regulatory Commission“ (NRC).

Nach einer Umweltverträglichkeitsprüfung („Environmental Impact Statement“, EIS) /DOE 80/ begann das „Department of Energy“ (DOE), die Nachfolgeorganisation der AEC, im Jahr 1981 mit dem Bau des „Waste Isolation Pilot Plant“ (Abb. 9). In dem neu errichteten Untertagelabor wurde im Jahr 1984 mit den ersten Experimenten begonnen. Bei den dort durchgeführten In-situ-Experimenten und Demonstrationsversuchen wurden keine radioaktiven Stoffe eingesetzt. Neben den In-situ-Versuchen wurden auch umfangreiche Laboruntersuchungen und Modellrechnungen durchgeführt.



Abb. 9 Luftbild der WIPP-Tagesanlagen /POW 07/

Die Ergebnisse der umfangreichen Untersuchungen sind in einem Genehmigungsantrag („Compliance Certification Application“) zusammengefasst, der bei der „Environmental Protection Agency“ (EPA) als zuständiger Genehmigungsbehörde eingereicht wurde /DOE 96/.

Der Einlagerungsbereich der WIPP-Site wurde bereits zwischen 1986 und 1988 aufgefahren. Er liegt in 655 m Tiefe und besteht aus acht Feldern („Panels“) mit jeweils sieben Kammern (Abb. 10). Die einzelnen Kammern sind etwa 90 m lang, 10 m breit und 4 m hoch. Die Pfeiler zwischen den Kammern haben eine Dicke von 30 m. Die acht Einlagerungsfelder werden wiederum durch 60 m mächtige Pfeiler getrennt. Insgesamt ergibt sich ein Durchbauungsgrad von maximal 25 %. Die Einlagerungskapazität beträgt rund 180.000 m³.

Die aufgefahrenen Einlagerungshohlräume standen bis zum Beginn der Einlagerung teilweise deutlich länger offen als ursprünglich geplant. Um die Standsicherheit der Grubenbaue zu gewährleisten, wurde ein geotechnisches Messnetz mit über 1.000 Messinstrumenten installiert, mit denen das Gebirgsverhalten kontinuierlich überwacht wird /REM 07/. Es zeigte sich, dass die vertikalen Konvergenzraten, die bis zu 9 cm/a betragen, in der aus anderen Salzbergwerken bekannten Größenordnung liegen.

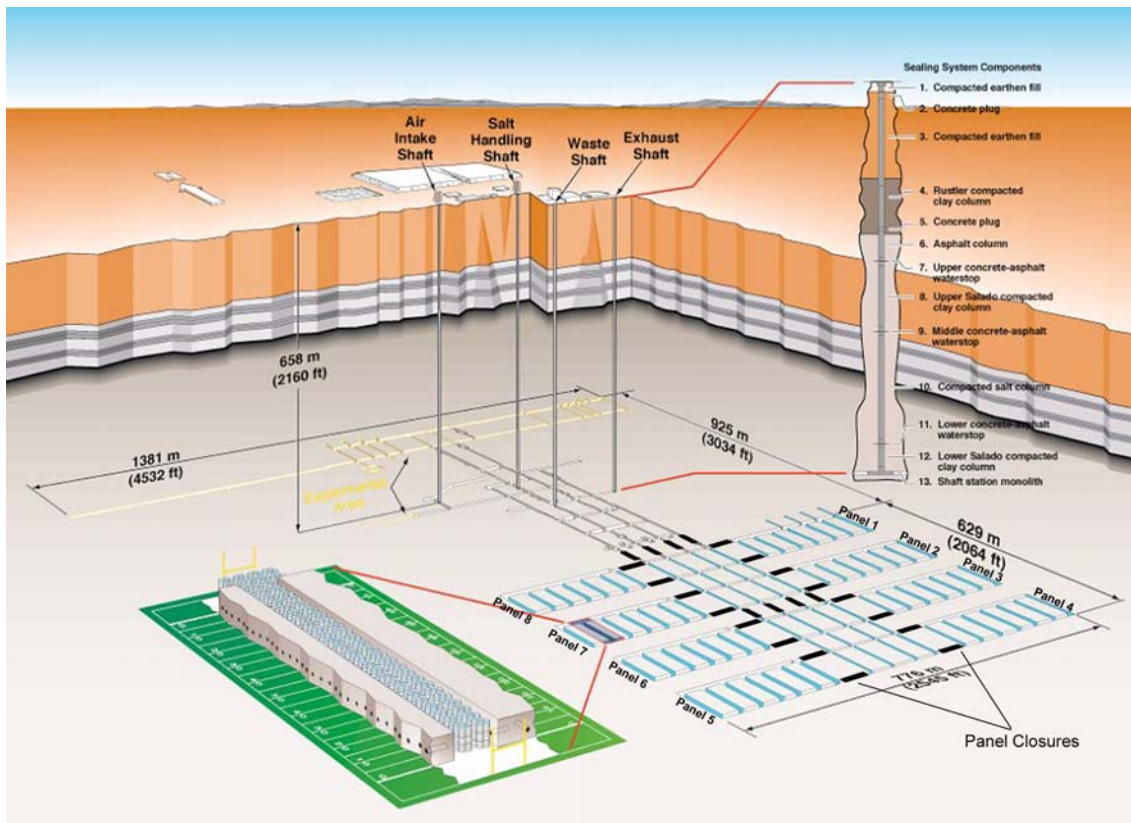


Abb. 10 Konzeption der Waste Isolation Pilot Plant /REM 06/

1992 verabschiedete der U.S. Kongress den so genannten „WIPP Land Withdrawal Act“ (LWA), mit dem das DOE zum Eigner des Geländes der WIPP-Site mit sämtlichen Schürfrechten wurde. Im Rahmen dieses Gesetzes wurde die US-Umweltbehörde EPA angewiesen, endgültige Vorschriften für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen zu erlassen und in Kraft zu setzen. Diese Vorschriften umfassen spezifische Anforderungen an die Abfallbehälter, den Schutz von Individuen und den Grundwasserschutz. Nach Prüfung der vom DOE erstellten Antragsunterlagen und öffentlichen Anhörungen bescheinigte die EPA im Mai 1998, dass die WIPP alle Anforderungen der Behörde erfüllt und den sicheren Abschluss von TRU-Abfällen gewährleistet.

Ungefähr 60 % der in der WIPP einzulagernden Abfälle sind Mischabfälle („Mixed Waste“), die neben radioaktiven auch chemotoxische Bestandteile enthalten. Neben der Bescheinigung durch die EPA, dass die radioaktiven Bestandteile sicher von der Biosphäre abgeschlossen werden, war daher für das Endlager eine weitere Genehmigung durch das für chemotoxische Abfälle zuständige „New Mexico Environment Department“ (NMED) erforderlich. Diese Genehmigung wurde am 27. Oktober 1999 erteilt.

Insgesamt dauerte das Genehmigungsverfahren der EPA für den insgesamt 84.000 Seiten umfassenden Antrag 19 Monate. Das Genehmigungsverfahren des NMED mit 11.000 Seiten Antragsunterlagen erstreckte sich über 53 Monate. Die bisherigen Genehmigungen beziehen sich ausschließlich auf „Contact-handled“ (CH) TRU-Abfall mit geringen Oberflächendosisleistungen. Den Genehmigungen ging im Jahr 1997 ein Peer Review der WIPP-Sicherheitsanalyse voraus, der durch die OECD-NEA in Zusammenarbeit mit der IAEA unter Beteiligung von Fachleuten aus Kanada, Deutschland, Japan, Spanien, Schweden und Großbritannien erfolgte.

Nach der Genehmigung durch die EPA im Mai 1998 wurde die „Waste Isolation Pilot Plant“ am 26. März 1999 als Endlager für Transuranabfälle in Betrieb genommen /REM 04/. Es ist das weltweit erste Endlager in tiefen geologischen Formationen für mittelradioaktive, langlebige Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung und wurde speziell für diesen Verwendungszweck konzipiert, errichtet und genehmigt. Das Endlager besteht aus gezielt für die Endlagerung hergestellten Hohlräumen, die nicht Teil eines aktiven oder früheren Gewinnungsbergbaus sind.

Seit dem 26. März 1999 wurden 49.966 m³ „Contact-handled (CH) transuranic (TRU) waste“ (d. h. schwachradioaktive Abfälle in dem Sinne, dass sie ohne Abschirmung handhabbar sind) eingelagert (Stand: 29.07.2007) /REM 07/. Diese Abfälle dürfen an der Behälteroberfläche eine maximale Dosisleistung von 2 mSv/h aufweisen. Die Abfallbehälter mit CH-TRU-Abfällen werden in den Einlagerungsräumen in drei Lagen übereinander gestapelt /REM 07/.

Die Einlagerung von „Remote-handled (RH) transuranic (TRU) waste“ (d. h. von mittelradioaktiven Abfällen, die nicht unabschirmt handhabbar sind) begann am 23. Januar 2007, nachdem die erforderliche Genehmigung durch das NMED am 16. Oktober 2006 erteilt worden war. Die maximale Dosisleistung an der nicht abgeschirmten Behälteroberfläche dieser Abfälle beträgt 10 Sv/h. Mit Abschirmung ist aber auch für diese Behälter die maximale Dosisleistung an der Behälteroberfläche auf 2 mSv/h begrenzt. Die Abfallbehälter mit RH-TRU-Abfällen werden in horizontale Bohrlöcher eingelagert /REM 07/.

Nach den derzeit in den USA geltenden Vorschriften müssen in der WIPP auch technische Barrieren installiert werden, welche die natürliche Barriere des Wirtsgesteins Salz ergänzen. In den Einlagerungskammern mit CH-TRU-Abfällen werden über den gestapelten Behältern Säcke mit Magnesiumoxid eingebracht. Durch diesen „chemischen

Versatz“ soll der pH-Wert im sehr unwahrscheinlichen Fall einer Durchfeuchtung im Endlager im neutralen bis basischen Bereich gehalten werden /REM 07/. Nach der Befüllung mit Abfällen werden die einzelnen Einlagerungsfelder jeweils durch Abdichtungen vom übrigen Grubengebäude getrennt. Bis zum vorgesehenen Ende der Betriebsphase im Jahr 2033 sollen insgesamt bis zu 175.000 m³ radioaktiver Abfall eingelagert werden /REM 07/. Danach sollen die vier Schächte mit jeweils einem Schachtverschluss verschlossen werden.

Weitere Informationen zu technischen, wissenschaftlichen und regulatorischen Details finden sich auf der offiziellen WIPP Webseite des DOE /DOE 08b/.

3 Endlagerstandorte in Deutschland

In der Bundesrepublik Deutschland sind gegenwärtig drei Standorte in der öffentlichen Diskussion über die Endlagerung radioaktiver Abfälle: Das Erkundungsbergwerk Gorleben, die Schachanlage Konrad und das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM). Die nachfolgenden Ausführungen basieren ganz wesentlich auf den Darstellungen dieser Standorte seitens der Deutschen Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe (DBE) (/DBE 08a/, /DBE 08b/, /DBE 08c/) sowie der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (/BGR 07a/, /BGR 07b/, /BGR 07c/), auf die deshalb nicht in jedem Einzelfall verwiesen wird.

Darüber hinaus ist die Schachanlage Asse zu erwähnen, in der im Zeitraum von 1967 bis 1978 Einlagerungstechniken entwickelt und erprobt und in diesem Zusammenhang schwach- und mittelradioaktive Abfälle zu Versuchszwecken eingelagert wurden. Aufgrund des Forschungscharakters der Arbeiten im ehemaligen Forschungsbergwerk Asse sind nähere Informationen hierzu im Anhang „Untertagelabore“ zu finden.

3.1 Gorleben

Allgemeine Beschreibung

Der Salzstock Gorleben wird seit 1979 auf seine Eignung als Wirtsgestein für ein Endlager für alle Arten radioaktiver Abfälle untersucht. Der Salzstock erstreckt sich über eine Länge von rund 14 km und ist ca. 4 km breit. Der Top des Salzstockes (Salzspiegel) liegt ca. 250 m unter Gelände, die Salzbasis zwischen 3.200 m und 3.400 m Teufe (Abb. 11).

Über einen Zeitraum von über 20 Jahren wurden am Standort Gorleben umfangreiche Untersuchungen zur Erkundung des internen Aufbaus des Salzstockes und seines Deckgebirges durchgeführt. Im Rahmen des Untersuchungsprogramms erfolgten über-tägige und untertägige Erkundungsmaßnahmen. Die übertägigen Erkundungsarbeiten begannen 1979 und wurden 1985 in wesentlichen Teilen abgeschlossen. Zur untertägigen Erkundung wurde im niedersächsischen Landkreis Lüchow-Dannenberg ca. 2 km südlich der Elbe das Erkundungsbergwerk Gorleben errichtet. Die untertägige Erkundung begann 1986 mit dem Abteufen der beiden Schächte Gorleben 1 (bis in 933 m Teufe) und Gorleben 2 (bis in 840 m Teufe) im Zentrum des Salzstockes.

Bei der Auffahrung des Erkundungsbergwerkes wurden mehrere Sohlen angelegt. Die eigentliche Erkundungssohle, auf der bis zum Beginn des Moratoriums am 1. Oktober 2000 die geowissenschaftlichen und geotechnischen Untersuchungen durchgeführt wurden, liegt in einer Teufe von 840 m unter Geländeoberfläche (-820 m NN). Weitere "technische" Sohlen wurden in 820 m Teufe (Abwettersohle), 880 m Teufe (Fördersohle) und 930 m Teufe (Schachtunterfahrung) angelegt. Diese Sohlen sind auf den schachtnahen Bereich beschränkt. Insgesamt wurden bis zum Erkundungsstopp etwa 7 km Strecken mit ca. 234.000 m³ Hohlraum aufgefahren und zahlreiche geologische und geotechnische Bohrungen mit einer Gesamtlänge von ca. 16.000 m erstellt.

Nach den Planungen sollen fünf Erkundungsbereiche im Nordost-Teil des Salzstockes aufgefahren werden. Von diesen sind bisher der Erkundungsbereich 1 (EB 1) sowie der schachtnahe Infrastrukturbereich (Werkstätten, Arbeits- und Lagerräume) fertiggestellt.

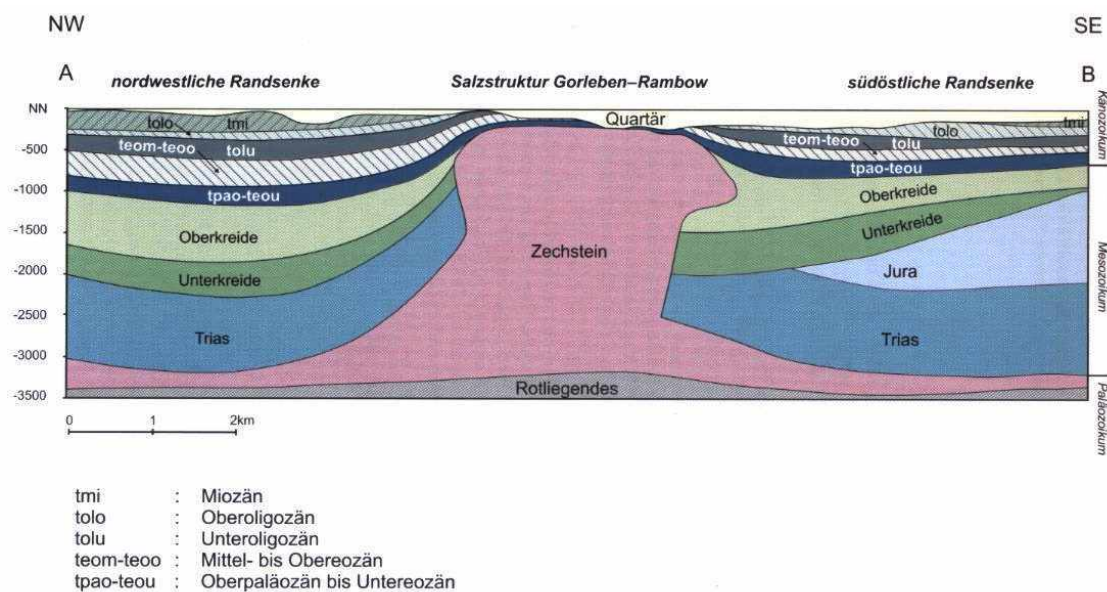


Abb. 11 Vereinfachter geologischer Schnitt durch den Salzstock Gorleben und die begleitenden Randsenken mit mesozoischen und känozoischen Sedimenten /KÖH 07/



Abb. 12 Tagesanlagen des Erkundungsbergwerks Gorleben

Auf dem 28 ha großen Betriebsgelände wurden neben den beiden Schachtförderanlagen mit den zugehörigen Tagesanlagen (Schachthalle, Verladeanlage, Seilfahrtbrücke) auch ein Büro- und Kauengebäude, ein Magazin mit Werkstatt, ein Bohrkernlager sowie weitere Funktionsgebäude errichtet (Abb. 12). Etwa 1 km außerhalb des Bergwerksgeländes befindet sich eine Salzhalde, auf der das geförderte Haufwerk deponiert wurde. Bislang wurden hier ca. 600.000 t Salz abgelagert.

Entwicklung des Standortes

Das Konzept einer Endlagerung radioaktiver Abfälle in Salzformationen wurde bereits im Jahr 1957 in einem von der US-National Academy of Sciences erstellten Bericht als besonders geeignet bezeichnet. In Deutschland wurde 1963 im Zweiten Deutschen Atomprogramm ebenso eine Empfehlung für Salz als Endlagermedium ausgesprochen wie in einem Gutachten der Bundesanstalt für Bodenforschung in Hannover (heute: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, BGR). Daraufhin wurde im Jahr 1965 mit der Durchführung von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Endlagerung im Steinsalz im ehemaligen Salzbergwerk "Schachanlage Asse" bei Remlingen im Kreis Wolfenbüttel begonnen (siehe Anhang „Untertagelabore“).

Im Jahr 1972 begann im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung und Technologie (BMFT) eine deutschlandweite Suche nach einem Standort für ein Nukleares Entsorgungszentrum (NEZ) mit Wiederaufarbeitung und Endlagerung aller Arten von radioaktiven Abfällen an einem Standort. Eine von der Bundesregierung beauftragte Kommission ermittelte in einem ersten Durchgang 26 mögliche Standorte in dünn besiedelten Regionen, von denen 8 als besonders günstig eingestuft wurden. Drei Salzstöcke in Niedersachsen wurden schließlich zur näheren Untersuchung vorgeschlagen: Waten, Weesen-Lutterloh und Lichtenhorst. Im Jahre 1975 bewilligte das BMFT Mittel für Erkundungsmaßnahmen an diesen Standorten. Diese Untersuchungen wurden jedoch nach Protesten gegen die Erkundung und aufgrund politischer Bedenken der neuen Landesregierung im August 1976 eingestellt.

In der 4. Novelle zum Atomgesetz vom 30. August 1976 wurden die Zuständigkeiten und Verfahrensweisen bei der Sicherstellung und Endlagerung radioaktiver Abfälle grundlegend geregelt. Daraus ergab sich die folgende Rollenverteilung: die Industrie baut und betreibt Anlagen zur Wiederaufarbeitung, Abfallbehandlung und Zwischenlagerung von radioaktiven Abfällen aus dem Bereich der Kernkraftwerke, die Länder bauen und betreiben Landessammelstellen für die Zwischenlagerung von radioaktiven Abfällen aus Forschung, Medizin und Industrie und der Bund baut und betreibt Endlager für radioaktive Abfälle. Die Aufgaben des Bundes wurden zunächst von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) und ab 1989 vom neu errichteten Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) wahrgenommen. Die Kosten für die Endlagerung werden nach dem Verursacherprinzip in erster Linie von den Energieversorgungsunternehmen getragen.

Parallel zur Erkundung an den drei genannten Standorten wurde 1976 von der niedersächsischen Landesregierung eine interministerielle Arbeitsgruppe unter Federführung des niedersächsischen Wirtschaftsministeriums einberufen, die in drei Auswahlphasen aus 140 untersuchten Salzstöcken vier Standorte auswählte: Wahn, Lichtenhorst, Gorleben und Mariagluck. In einer vierten Auswahlphase wurde Gorleben als optimaler Standort vorgeschlagen, da dieser Salzstock mit ca. 40 km² einer der größten niedersächsischen Salzstöcke ist und im Standortbereich unverletzt war.

Am 22. Februar 1977 entschied sich die niedersächsische Landesregierung, Anträge zur Errichtung eines NEZ am Standort Gorleben zu prüfen. Am 5. Juli 1977 akzeptierte der Bund die Standortentscheidung. Am 28. Juli 1977 wurde von der damals zuständigen PTB der Antrag zur Einleitung eines atomrechtlichen Planfeststellungsverfahrens

zur Errichtung einer Anlage nach § 9b AtG zur Sicherstellung und Endlagerung radioaktiver Abfälle in dem am Standort Gorleben geplanten Nuklearen Entsorgungszentrum gestellt. Die Realisierung eines NEZ wurde 1979 mit dem so genannten „Integrierten Entsorgungskonzept“ aufgegeben und eine Trennung der Standorte für die Wiederaufarbeitung und das Endlager vorgesehen. Die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle war jedoch auch weiterhin am Standort Gorleben geplant.

Im Jahr 1979 wurde die Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE) als Dritter i.S.d. § 9a Abs. 3 des Atomgesetzes (AtG) gegründet, um zur sachgerechten und wirtschaftlichen Erkundung des Salzstockes Gorleben bereits vorhandenes Know-how aus Forschung und Industrie zu nutzen.

Seit 1979 wurde der Salzstock Gorleben auf seine Eignung als Endlager für alle Arten fester und verfestigter, insbesondere auch wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle untersucht (u. a. /BFS 90a/, /DBE 08a/, /BGR 07a/).

Die 1979 begonnenen übertägigen Erkundungsarbeiten wurden 1985 in wesentlichen Teilen abgeschlossen. Nach dem Beitritt der DDR zur Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1990 wurden nachträglich auch die Gebiete östlich der Elbe in das Untersuchungsprogramm einbezogen. Das Erkundungsprogramm umfasste hydrogeologische Untersuchungen, geologische Kartierungen, geophysikalische Messungen, Errichtung und Betrieb eines seismischen Stationsnetzes, Salzspiegelbohrungen zur Untersuchung der Kontakt- und Übergangszone zwischen Salzstock und Deckgebirge/Hutgestein, Tiefbohrungen in die Salzstockflanken bis in rund 2.000 m Tiefe zur Klärung des Stoffbestandes und der Struktur des Salzstockes sowie zwei Schachtvorbohrungen zur Vorbereitung des Schachtabteufens und der untertägigen Erkundung.

1983 gab die Bundesregierung ihre Zustimmung zur untertägigen Erkundung des Salzstockes, die mit dem Abteufen der beiden ca. 400 m voneinander entfernten Schächte Gorleben 1 (1986 bis 1997) und Gorleben 2 (1989 bis 1995) begann. Ab dem Jahr 1995 folgte die zweite Phase der untertägigen Erkundung mit der Auffahrung der Strecken im Infrastrukturbereich und im Erkundungsbereich 1 (EB 1). Zunächst wurden auf der 840-m-Sohle Füllörter (Übergang eines Schachtes in die horizontale Auffahrung) ausgesetzt, von denen aus 1996 eine Verbindung zwischen beiden Schächten geschaffen wurde. Im weiteren Verlauf wurde der Infrastrukturbereich des Erkundungsbergwerkes erstellt und mit der Umfahrung des für die Einlagerung wärmeentwickeln-

der Abfälle vorgesehenen Steinsalzbereiches im Zechstein 2 (Hauptsalz der Staßfurt-Folge, z2HS) begonnen.

Parallel zu den Auffahrungsarbeiten wurden die geologischen Verhältnisse in sämtlichen Strecken kartiert und eine Vielzahl von Erkundungsbohrungen und geotechnischen Bohrungen erstellt, um die geomechanischen Eigenschaften sowie das stoffliche und strukturelle Inventar des Salzgesteins zu klären.

Im Jahr 2000 wurde in einem zwischen der Bundesregierung und den EVU vereinbarten Moratorium eine Unterbrechung der Erkundung des Salzstocks Gorleben für mindestens drei, höchstens jedoch 10 Jahre vereinbart, um die Klärung konzeptioneller und sicherheitstechnischer Fragestellungen zu ermöglichen. Die Erkundungsarbeiten wurden daraufhin zum 1. Oktober 2000 eingestellt /BFS 06/.

Zur Sicherung des Standortes Gorleben vor Maßnahmen, die eine Fortsetzung der Erkundung erschweren könnten, erließ die Bundesregierung im August 2005 die „Gorleben-Veränderungssperren-Verordnung (Gorleben VSpV)“ /BMU 05/. Mit dieser Verordnung wurde ein Planungsgebiet festgelegt, in dem keine wertsteigernden oder die Standorterkundung erheblich erschwerenden Veränderungen vorgenommen werden dürfen.

Eine definitive Eignungsaussage zum Standort Gorleben ist bisher noch nicht erfolgt. Diese Aussage kann erst nach Beendigung und Auswertung der untertägigen Erkundung sowie der Durchführung einer standortspezifischen Sicherheitsanalyse mit Abschluss eines atomrechtlichen Planfeststellungsverfahrens getroffen werden. In einer Erklärung der Bundesregierung zu Gorleben wurde jedoch festgestellt, dass die bisherigen Befunde nicht gegen eine Eignungshöflichkeit sprechen.

Ziel der Standorterkundung

Die Erkundung des Salzstockes Gorleben dient dazu, alle erforderlichen Informationen und Daten zu gewinnen, die zur Beurteilung der Eignung des Salzstockes als Wirtsgestein für ein Endlager für alle Arten radioaktiver Abfälle notwendig sind.

Durch Streckenauffahrungen auf dem Niveau der Erkundungssohle (840-m-Sohle) werden Salzstockbereiche, die für die Endlagerung potenziell geeignet erscheinen, aufgeschlossen und deren geowissenschaftliche Erkundung ermöglicht. Über Bohrun-

gen, die von untertägigen Strecken aus geteuft werden, lassen sich Kenntnisse über den geologischen und strukturellen Aufbau des Salzstockes sowie seiner geomechanischen Eigenschaften gewinnen. Primäres Ziel der Erkundung ist der Nachweis ausreichend großer homogener Steinsalzbereiche, in die radioaktive Abfälle eingelagert werden können. Weiterhin sollen potenzielle Freisetzungspfade eingegrenzt werden /DBE 08a/.

Geologie

Der Salzstock Gorleben ist eine der zahlreichen Salzstrukturen in der norddeutschen Tiefebene (Abb. 13). Er besteht aus mächtigen Folgen des Zechsteins, die im Verlauf des Salzaufstieges (Halokinese) intensiv verfaultet wurden (Abb. 14). Ausführliche Darstellungen zur Geologie des Salzstockes Gorleben wurden von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) publiziert /KLI 07/, /KÖH 07/, /BOR 08/.

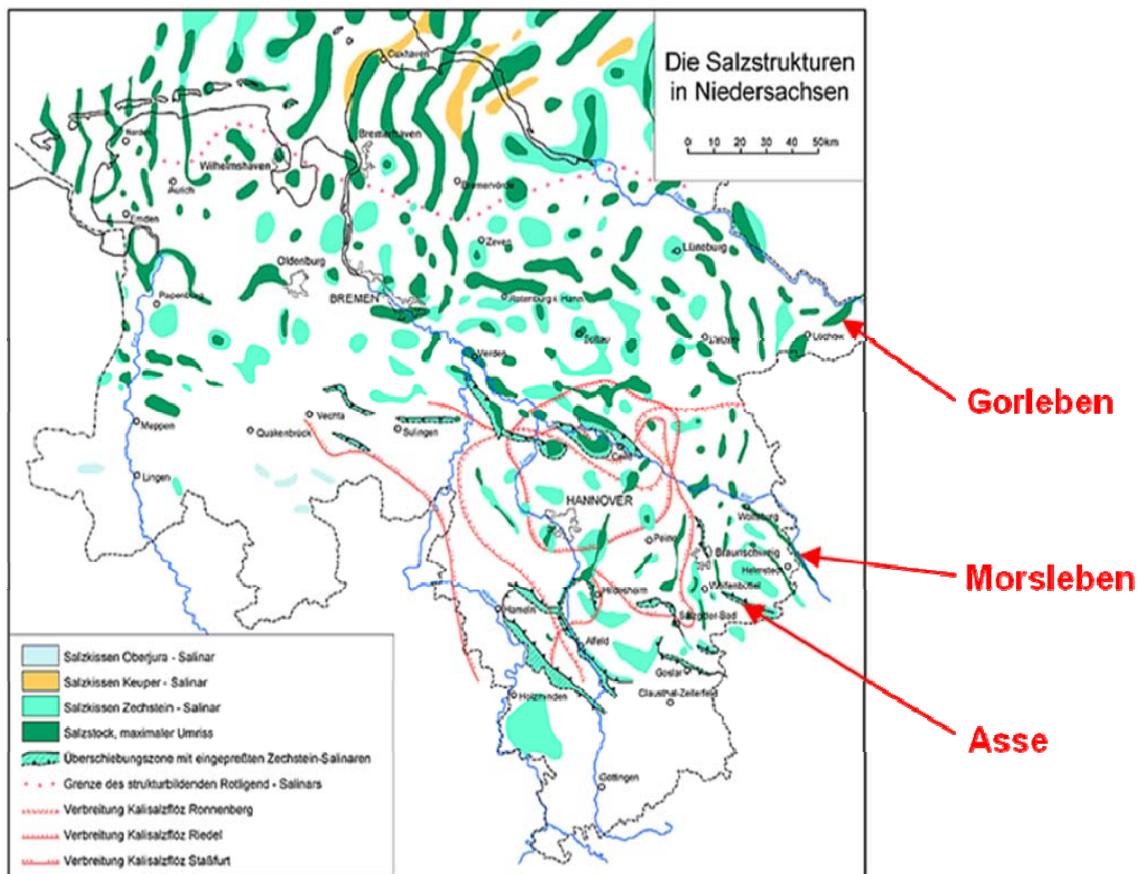


Abb. 13 Salzstrukturen in der norddeutschen Tiefebene mit Lage der Standorte Gorleben, Morsleben und Asse

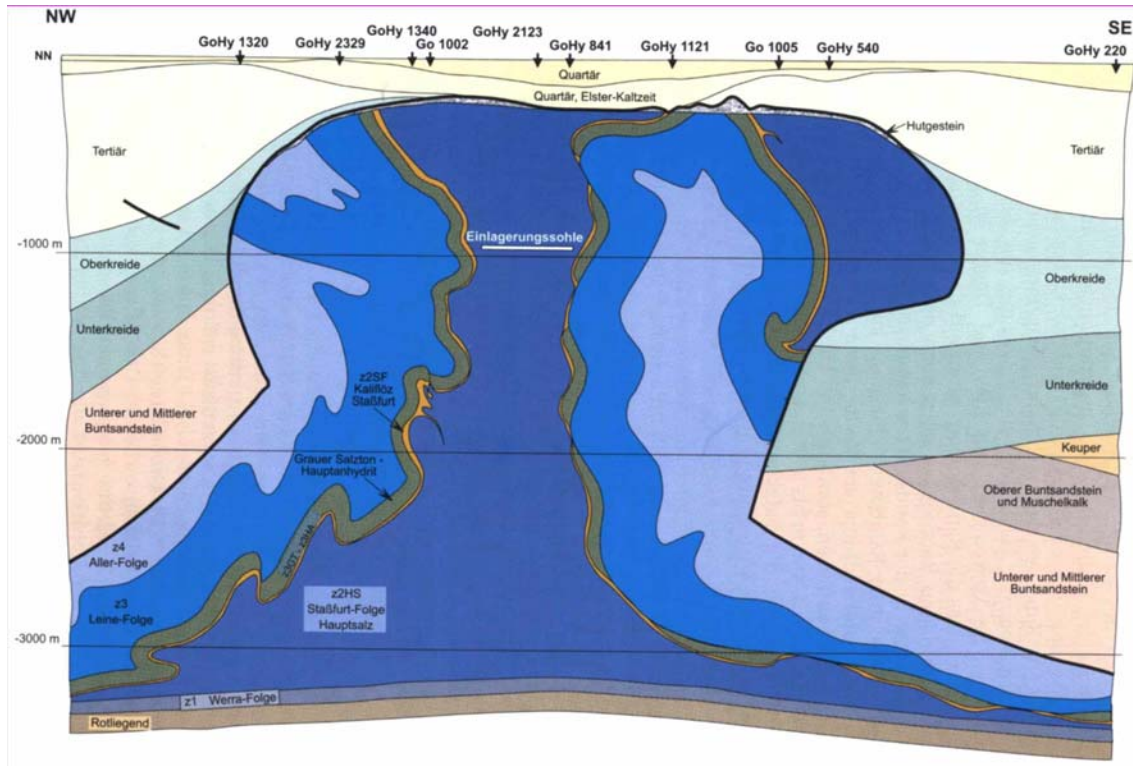


Abb. 14 Geologisches Profil durch den Salzstock Gorleben mit dem internen Aufbau der Salzstruktur und der Einlagerungssohle auf der 840-m-Sohle /KÖH 07/

Die ersten Salzbewegungen im Bereich des heutigen Salzstockes Gorleben traten im Oberen Buntsandstein auf und führten zunächst zur Ausbildung eines großen Salzkinsens. An der Wende vom Oberen Jura zur Unterkreide durchbrach das Zechsteinsalz das überlagernde Deckgebirge. Die Durchbruchsstelle lag am SE-Rand des Salzkinsens, so dass dieser steiler ausgebildet ist als der NW-Rand /KÖH 07/.

Der Salzaufstieg führte zu einem Ausdünnen der Deckgebirgsschichten über dem Salzstock. Während der gesamten Kreide kam es zu starken Salzabwanderungen aus der Umgebung der Salzstruktur in den Salzstock. Über diesen Salzabwanderungsgebieten entstanden sogenannte Randsenken, in denen es infolge der Absenkung zu einer Mächtigkeitszunahme der in der Folgezeit abgelagerten Deckgebirgsschichten kam. Die halokinetisch bedingte Mächtigkeit dieser Schichten kann dabei im zentralen Bereich der Randsenken ein Vielfaches ihrer normalen Mächtigkeit erreichen /KÖH 07/.

Am Ende der Kreide verlangsamte sich der Salzstockaufstieg. Die aktive Diapirphase der Salzstruktur Gorleben war abgeschlossen. Im Tertiär wurde der Salzstock von meist nur geringmächtigen Ablagerungen überdeckt. Die zum Ende des Tertiärs und in der Prägiazialzeit einsetzende Erosion führte zu einer Reduzierung der Überdeckung des Salzstockes. Während der elsterzeitlichen Vereisung im Quartär kam es zur Ausräumung der tertiären Schichten und stellenweise zur Freilegung der Salzstockoberfläche. Im Scheitelbereich des Salzstockes führte die zunehmende Subrosion während des Quartärs zur Entstehung glazialer Rinnen.

Das aus der über- und untertägigen Erkundung resultierende geologische Modell für das Endlager und seine Umgebung ist in Abb. 15 dargestellt. In der Staßfurt-Folge des Zechsteinsalinars wurden große homogene Steinsalzbereiche nachgewiesen, die für die Errichtung eines Endlagers geeignet sind.

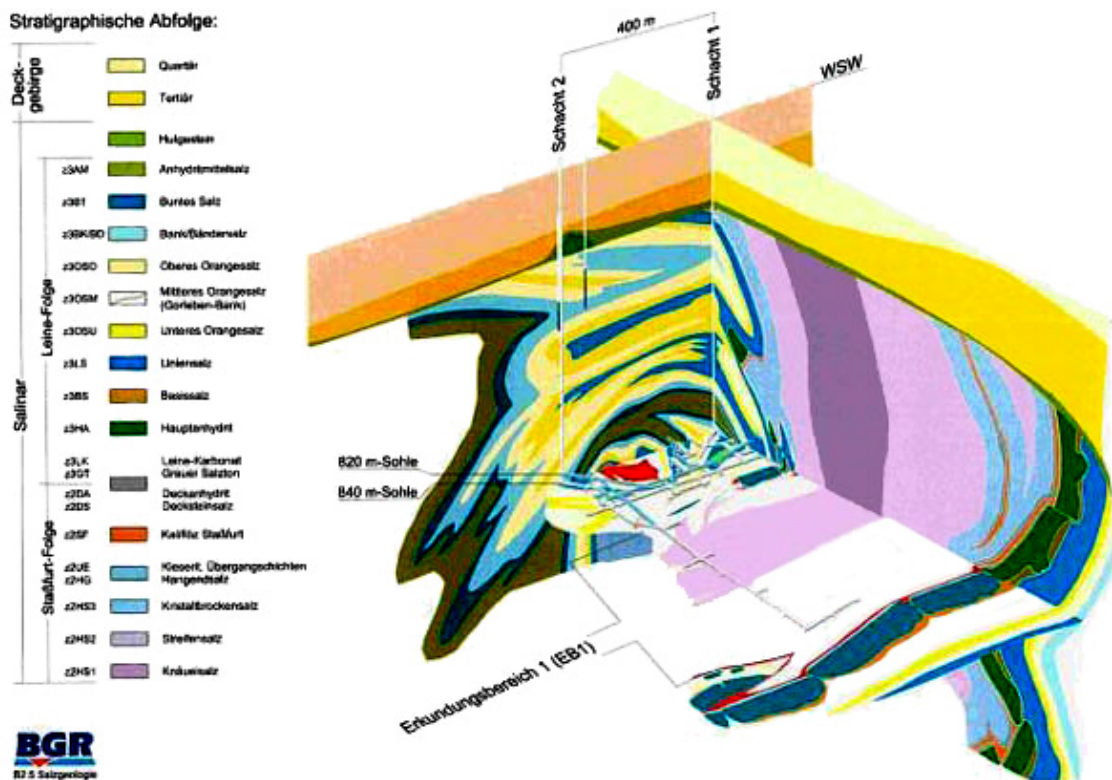


Abb. 15 Geologisches Modell durch den geplanten Endlagerbereich im Salzstock Gorleben /BGR 07a/

3.2 Schachtanlage Konrad

Allgemeine Beschreibung

Das ehemalige Eisenerzbergwerk Konrad liegt bei Salzgitter im Bundesland Niedersachsen. Die Schachtanlage Konrad besitzt insofern einen Sonderstatus, als es sich bei dem genutzten Wirtsgestein um einen Eisenerzhorizont handelt, der in Teufen zwischen 900 und 1.300 m abgebaut wurde. Der Zugang zum Bergwerk, das sich mit einer horizontalen Ausdehnung von ca. 1,7 x 3,0 km über insgesamt 6 Sohlen erstreckt, erfolgt über die beiden ca. 1,5 km voneinander entfernten Schächte Konrad 1 und Konrad 2.

Der Schacht Konrad 1 dient zum Transport von Haufwerk, Material und Personen. Über diesen Schacht erfolgt auch die Bewetterung (Frischluftezufuhr) des Bergwerks. Über Schacht Konrad 2 werden die verbrauchten Wetter (Abluft) wieder an die Oberfläche geführt.

Aufgrund der wasserundurchlässigen Tone im Hangenden ist die Grube sehr trocken. Nach der wirtschaftlich bedingten Einstellung der Eisenerzförderung im Jahr 1976 wurde aufgrund dieser günstigen geologischen Verhältnisse ein umfangreiches geowissenschaftliches Erkundungs- und Untersuchungsprogramm hinsichtlich der Eignung des Bergwerks bzw. der Eisenerzformation als Endlager für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung begonnen.

Das Genehmigungsverfahren zur Umrüstung der Schachtanlage in ein Endlager für vernachlässigbar wärmeentwickelnde Abfälle wurde im Jahr 2002 abgeschlossen /BFS 01/, /DBE 08c/, /BGR 07c/.

Entwicklung des Standortes

Bereits seit dem Ende des 19. Jahrhunderts wurden im Raum Salzgitter Eisenerze abgebaut. Die vor ca. 150 Millionen Jahren entstandene Eisenerzlagerstätte Konrad wurde 1933 eher zufällig bei Explorationsbohrungen auf Erdöl entdeckt. Von 1937 bis 1943 wurde das Erzvorkommen durch Erkundungsbohrungen untersucht und schließlich durch das Abteufen der beiden Schächte Konrad 1 und Konrad 2 von 1957 bis 1962 erschlossen. Die Streckenauffahrung untertage und die damit verbundene Erz-

gewinnung begann 1960, die Förderung des Erzes in größeren Mengen jedoch erst 1965. Bereits im Jahr 1976 wurde der Erzabbau aus wirtschaftlichen Gründen wieder eingestellt. Insgesamt wurden in der Grube Konrad über 6,7 Millionen Tonnen Eisenerz abgebaut, was allerdings nur 0,5 % des gesamten Vorkommens dieser Lagerstätte entspricht.

Nach der Einstellung des Eisenerzbergbaus wurde die Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH (GSF) (heute: Helmholtz Zentrum München, Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt, HMGU) vom Bund beauftragt, ein wissenschaftliches Erkundungs- und Untersuchungsprogramm im Hinblick auf die Eignung der Schachanlage Konrad als Endlager für radioaktive Abfälle durchzuführen. Im Rahmen dieser Erkundung wurden von 1976 bis 1982 geologische Bohrungen, seismische Messungen und geotechnische Untersuchungen durchgeführt und ausgewertet. Dieses Untersuchungsprogramm wurde mit dem Ergebnis abgeschlossen, dass die Eisenerzlagerstätte u. a. aufgrund ihrer Tiefenlage von ca. 1.000 m und der weiträumigen diskordanten Überlagerung des Wirtsgesteins mit mächtigen Ton- und Mergelsteinen der Unter- und Oberkreide, die eine gute Abdichtung gegen oberflächennahe Grundwässer bilden, ideale Voraussetzungen für die Endlagerung radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung aufweist /BRW 82/.

Auf der Grundlage dieser positiven Erkundungsergebnisse stellte die zum damaligen Zeitpunkt zuständige Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) am 31.08.1982 einen Antrag auf Einleitung eines atomrechtlichen Planfeststellungsverfahrens für die Errichtung eines Endlagers für feste und verfestigte radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung. In den folgenden Jahren von 1983 bis 1990 wurde der Standort systematisch weiter erkundet und das Vorhaben durch Sachverständige begutachtet sowie der Sicherheitsbericht „Plan Konrad“ erarbeitet /BFS 90b/. Die Zuständigkeit des Bundes ging zwischenzeitlich am 01.11.1989 von der PTB auf das neu gegründete Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) über.

Der „Plan Konrad“ wurde vom 22.05.1991 bis zum 15.07.1991 zusammen mit weiteren Unterlagen in Hannover, Peine, Braunschweig und Salzgitter öffentlich zur Einsichtnahme ausgelegt. Daraufhin wurden von insgesamt 289.387 Personen Einwände gegen das Projekt erhoben, die zu ca. 1.000 Themenkomplexen zusammengefasst wurden. Die vorgebrachten Einwendungen wurden vom 25.09.1992 bis zum 06.03.1993 in einer öffentlichen Erörterung unter Leitung des Niedersächsischen Umweltministeriums (NMU) verhandelt.

Ab 1992 übernahm die Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe (DBE) als Auftragnehmer des Bundes die weiteren Erkundungsarbeiten und die Entwicklung der erforderlichen Endlagertechnik.

Im Dezember 1997 legte das Niedersächsische Umweltministerium dem BMU den weitgehend vollständigen Entwurf eines Planfeststellungsbeschlusses vor. Dieser Entwurf kam zu dem Ergebnis, dass die erforderliche Vorsorge gegen Schäden durch die Errichtung und den Betrieb des Endlagers, auch in Bezug auf die Langzeitsicherheit, getroffen werden kann.

Im Juli 2000 wurde seitens des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) ein Antrag auf Sofortvollzug des beantragten Planfeststellungsbeschlusses für Schacht Konrad zurückgezogen. Die Rücknahme erfolgte in Umsetzung einer Festlegung in der Konsensvereinbarung vom 14.06.2000. Damit hatten Klagen gegen den Planfeststellungsbeschluss aufschiebende Wirkung.

Am 22.05.2002 wurde nach fast zwanzigjähriger Verfahrensdauer der Planfeststellungsbeschluss für die Umrüstung und den Betrieb der Schachtanlage Konrad als Endlager für radioaktive Abfälle erteilt. Gegen diese Genehmigung eingereichte Klagen wurden durch das Obergericht Lüneburg am 08. März 2006 ohne Zulassung der Revision abgewiesen /BGR 07b/. Die Beschwerden der Kläger gegen die Nichtzulassung der Revision wurden im März 2007 vom Bundesverwaltungsgericht zurückgewiesen /BVG 07/. Der Rechtsweg der Verwaltungsgerichtsbarkeit ist damit erschöpft und es liegt ein rechtskräftiger und unanfechtbarer Planfeststellungsbeschluss zum Endlager Schachtanlage Konrad vor.

Nach Rechtskraft des Planfeststellungsbeschlusses entschied der Bund, die Schachtanlage Konrad als Endlager für radioaktive Abfälle umzurüsten. Zur Koordinierung der Umrüstung richtete das BfS im Mai 2007 die Projektgruppe „Errichtung des Endlagers Konrad“ (PG-K) ein. Nach einer etwa zweijährigen Vorbereitungsphase soll der eigentliche Umbau der Schachtanlage zu einem Endlager noch weitere vier bis sechs Jahre in Anspruch nehmen. Mit einer Einlagerung radioaktiver Abfälle wird also frühestens im Jahr 2013 begonnen werden.

Der vom BfS im Oktober 2007 beantragte „Hauptbetriebsplan für die Errichtung des Endlagers Konrad“, der die bergrechtliche Ergänzung des atomrechtlichen Planfeststellungsbeschlusses darstellt und die bergrechtlichen Grundlagen für den anstehenden

Ausbau Konrads zu einem Endlager schafft, wurde im Januar 2008 vom Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen zugelassen /BfS 08a/.

Ziel des Projekts

Die geplante Umrüstung des ehemaligen Erzbergwerks zu einem Endlager für alle Arten fester oder verfestigter radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung beinhaltet die Errichtung vollständig neuer Tagesanlagen am Schacht Konrad 2 mit einer neuen Schachtförderanlage, mit der die radioaktiven Abfälle nach unter Tage transportiert werden sollen. Am Schacht Konrad 1 wird eine neue Schachtförderanlage für den Personen- und Materialtransport errichtet. Ansonsten bleiben die Anlagen am Schacht Konrad 1 aus Denkmalschutzgründen im Wesentlichen unverändert. Die untertägigen Arbeiten umfassen die Auffahrung und Ausrüstung von Einlagerungskammern, Fahrstrecken und Infrastrukturbereichen.

Die Planung des Endlagers sieht mehrere Einlagerungsfelder in Teufen zwischen 800 m und 1.300 m vor, die ein Abfallvolumen bis zu 650.000 m³ aufnehmen können. Im Planfeststellungsbeschluss wurde das Einlagerungsvolumen auf 303.000 m³ beschränkt. Für eine Einlagerung im Endlager Konrad sind etwa 90 % der in Deutschland anfallenden radioaktiven Abfälle geeignet /DBE 08b/.

Geologie

Das Wirtsgestein der Schachtanlage Konrad besteht aus einem oolithischen Eisenerzhorizont (Korallenoolith) mit insgesamt geringer Durchlässigkeit. Die Eisenerze des Korallenooliths wurden im Oberen Jura (Malm) in küstennahen Bereichen abgelagert. Der Eisenerzhorizont wird von mehreren hundert Meter mächtigen, sehr gering durchlässigen Kreidetonen diskordant überlagert, die eine hydraulische Barriere gegenüber oberflächennahen Aquiferen bilden (Abb. 16). Im Liegenden des Eisenerzhorizontes befinden sich gering durchlässige Tonsteine des Jura, die eine Barriere gegenüber tiefen Aquiferen darstellen.

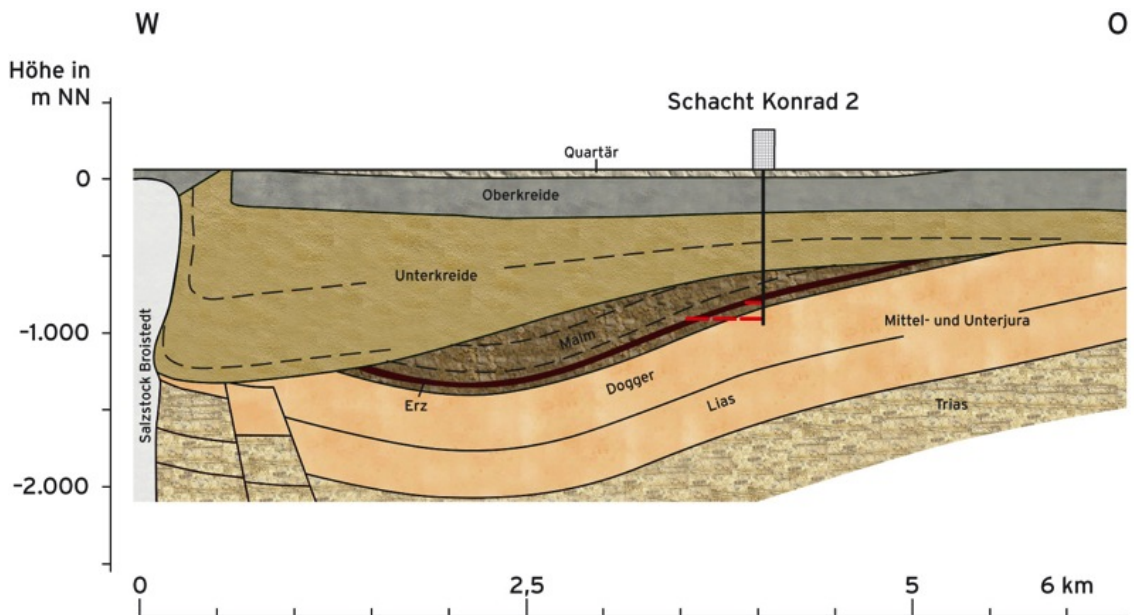


Abb. 16 Vereinfachter geologischer West-Ost-Schnitt durch die Schachtanlage Konrad im Bereich des Schachtes Konrad 2 /BFS 08b/

Bestimmend für die Tiefenwasserbewegung im Umfeld der Schachtanlage Konrad sind in etwa 2.000 m Tiefe vorhandene, gut wasserleitende Schichten der Trias (Sandsteine des Keupers und Kalksteine des Oberen Muschelkalks) (Abb. 17). Diese Formationen stehen im Salzgitter-Höhenzug südlich der Schachtanlage Konrad auf topographisch erhöhtem Niveau über Tage an. Unter den in Modellrechnungen angenommenen Süßwasserbedingungen führt das hier erhöhte hydraulische Potenzial zu einer geringen, nordwärts gerichteten Wasserbewegung auch innerhalb des Korallenooliths. Unter Annahme konservativer Randbedingungen (wie z. B. einer Überschätzung der Gebirgsdurchlässigkeit) könnten nach diesen Modellrechnungen nach mehreren hunderttausend Jahren Wässer aus dem Endlager bis in oberflächennahe Schichten gelangen.

Die Formationswässer im Bereich der Schachtanlage Konrad sind jedoch - anders als bei den Modellrechnungen unterstellt - stark salzhaltig. Ihr Salzgehalt steigt linear von 160 g/l in 600 m Tiefe auf 230 g/l in 1300 m Tiefe an. Extrapoliert man diesen Salzgehaltsanstieg in die Tiefe, so erreichen die Wässer in einer Tiefe unterhalb von 2.000 m die Salzsättigung. In dieser Tiefe stehen unterhalb der Schachtanlage Salze des Mittleren Muschelkalks an. Entsprechende Salinitätsverteilungen sind aus der Literatur aus der früheren DDR sowie dem Bereich des Nordseebeckens bekannt. Die im Vergleich zu Süßwasser erhöhte Dichte der Formationswässer hat zur Folge, dass der erhöhte Wasserdruck im Bereich der topographischen Hochlage kaum als Antriebsmotor für

tiefreichende Wasserbewegungen wirksam werden kann. Unter diesen Bedingungen ist die Diffusion des gelösten Salzes der dominierende Transportmechanismus zwischen Salinar und Geländeoberfläche. Im Süßwassermodell dominiert dagegen der wesentlich schneller ablaufende konvektive Stofftransport durch Grundwasserbewegung /BGR 04/.

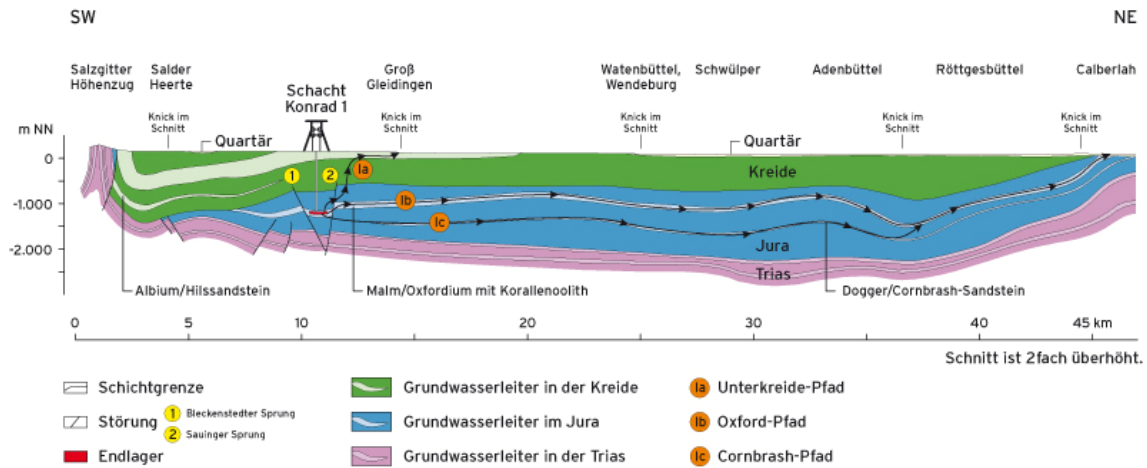


Abb. 17 Hydrogeologischer SW-NE-Schnitt durch das Modellgebiet Konrad mit Darstellung der modellierten Ausbreitungspfade /BFS 08c/

3.3 Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben

Allgemeine Beschreibung

Das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) ist aus dem Bergwerk der ehemaligen Burbach-Kali AG mit den beiden Schächten Bartensleben und Marie hervorgegangen. Es liegt unmittelbar an der westlichen Landesgrenze von Sachsen-Anhalt zwischen Magdeburg und Braunschweig im Bereich der Ortschaften Morsleben und Beendorf.

Die Salzstruktur im Oberen Allertal erstreckt sich über eine Länge von etwa 50 km und durchschnittlich 2 km Breite. Die Salzlagerstätte wurde gegen Ende des 19. Jahrhunderts erschlossen. Etwa 70 Jahre lang wurde hier Salzbergbau auf Kalisalz und Steinsalz betrieben.

Das im Rahmen des Salzbergbaus aufgefahrenes Grubengebäude ist rund 5,6 km lang und maximal 1,7 km breit. Der Schacht Bartensleben wurde bis 526 m geteuft und die Grube in vier Hauptfördersohlen angelegt. Der Steinsalzabbau erfolgte im Kammerbau-Verfahren ohne Versatz. Die Hohlräume der Grube Bartensleben haben in der Regel Abmessungen von ca. 100 m Länge, 30 bis 35 m Breite und ca. 15 m Höhe. Einzelne Abbaue erreichen auch bis zu 140 m Länge, 40 m Breite und 45 m Höhe. Die bis 1998 für die Endlagerung genutzten Kammern befinden sich im peripheren Bereich des Grubengebäudes. In der Grube Marie haben die Abbaukammern im Steinsalz bis zu 100 m Länge, 20 m Breite und 6 - 8 m Höhe. Der Schacht Marie dient heute ausschließlich als Fluchtweg und Wetterschacht.

Entwicklung des Standortes

Bis 1918 wurde am Standort Morsleben zunächst Kalisalz gefördert, anschließend bis zum Jahr 1969 auch Steinsalz. Nach Einstellung der Förderaktivitäten wurde das Bergwerk 1970 von der ehemaligen Deutschen Demokratischen Republik (DDR) aus insgesamt zehn betrachteten Salzbergwerken als Endlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle ausgewählt /BFS 01/. Nach Eignungsuntersuchungen und einer ersten probeweisen Einlagerung radioaktiver Abfälle wurde 1972 die Zustimmung zum Standort erteilt. Im Jahr 1974 erfolgte die Genehmigung zur Errichtung der ersten Ausbaustufe des Endlagers. Das ERAM wurde 1978 zunächst probeweise in Betrieb genommen. Im Jahr 1981 wurde eine befristete Genehmigung zum Dauerbetrieb mit einer Gültigkeit von fünf Jahren erteilt. Am 22.04.1986 erfolgte die unbefristete Genehmigung zum Dauerbetrieb für die Entsorgung schwach- und mittelradioaktiver Abfälle mit überwiegend kurzen Halbwertszeiten. Genehmigungs- und Aufsichtsbehörde war das Staatliche Amt für Atomsicherheit und Strahlenschutz (SAAS) der früheren DDR, der Betreiber das Volkseigene Kombinat Kernkraftwerke „Bruno Leuschner“ Greifswald.

Am 01.07.1990 trat das Umweltrahmengesetz der früheren DDR in Kraft, mit dem das Atomgesetz der Bundesrepublik Deutschland Gültigkeit erhielt. Das ERAM erhielt den atomrechtlichen Status eines staatlichen Endlagers im Sinne des § 9a Abs. 3 AtG. Die ursprünglich unbefristete Genehmigung zum Dauerbetrieb bekam eine Bestandsgarantie von zehn Jahren bis zum 30.06.2000.

Im Zuge der deutschen Wiedervereinigung ging das Endlager Morsleben in Bundesesigentum über. Seit dem 03.10.1990 ist das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) als für die Errichtung und den Betrieb von Bundesendlagern zuständige Behörde der neue

Genehmigungsinhaber für den Betrieb des Endlagers Morsleben /BFS 01/. Am 07.11.1990 beauftragte das BfS die Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe (DBE) als Dritten gemäß § 9a Abs. 3 Satz 2 AtG mit der Betriebsführung des ERAM.

Der Übergang der Betriebsgenehmigung auf das BfS ohne Durchführung eines für die Einrichtung eines Endlagers vorgeschriebenen Planfeststellungsverfahrens nach bundesdeutschem Recht war umstritten /BFS 01/. Am 20.02.1991 untersagte das damalige Bezirksgericht Magdeburg mit einer einstweiligen Verfügung die Endlagerung in Morsleben. Der Einlagerungsbetrieb wurde vorübergehend unterbrochen. Im November 1991 entschied das Gericht im Hauptsacheverfahren und vertrat die Auffassung, die 1986 vom SAAS erteilte Dauerbetriebsgenehmigung sei nicht auf das BfS übergegangen. Das Bundesverwaltungsgericht hob diese Entscheidung am 25.06.1992 auf. Mit diesem Urteil wurde die Genehmigung zum Dauerbetrieb des ERAM nach Maßgabe des AtG bis zum 30.06.2000 bestätigt. Nach Durchführung von Sicherheitsanalysen unter Federführung der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH wurde der Einlagerungsbetrieb im Januar 1994 erneut aufgenommen.

Nach der Wiederaufnahme des Einlagerungsbetriebes wurde das ERAM als Bundesendlager betrieben, d. h. als Endlager für radioaktive Abfälle aus den neuen und den alten Bundesländern. Die Abfälle stammten aus der friedlichen Nutzung der Kernenergie, aus der Medizin und aus der Forschung /BFS 01/, /DBE 08c/, /BGR 07c/.

Am 13.10.1992 beantragte das BfS beim Umweltministerium des Landes Sachsen-Anhalt als zuständiger Planfeststellungsbehörde die Einleitung eines Planfeststellungsverfahrens für den Weiterbetrieb des ERAM nach dem 30.06.2000 nach § 9b AtG. Dieser Antrag auf Weiterbetrieb wurde vom BfS mit Antrag vom 09.05.1997 auf die Stilllegung des ERAM beschränkt.

Im November 1997 erhob der Landesverband des Bundes für Umwelt und Naturschutz (BUND) Klage, weil für die Einlagerung radioaktiver Abfälle im Ostfeld kein Planfeststellungsverfahren durchgeführt worden war /BFS 01/. Das Ostfeld sei nicht Teil der Dauerbetriebsgenehmigung von 1986. Ein Eilantrag auf Unterlassung der Einlagerung hatte am 25.09.1998 Erfolg vor dem Obergericht Magdeburg. Mit dem Beschluss des Gerichtes wurde die weitere Einlagerung im Ostfeld bis zu einer rechtskräftigen Entscheidung in der Hauptsache untersagt. Das BfS setzte daraufhin die Annahme und die Einlagerung radioaktiver Abfälle insgesamt aus. Am 21.05.1999 gab

das BfS bekannt, dass die Einlagerung radioaktiver Abfälle im ERAM nicht wieder aufgenommen wird /BFS 01/.

Im gesamten Einlagerungszeitraum von 1971 bis 1998 wurden im ERAM insgesamt ca. 36.753 m³ schwach- und mittelradioaktive Abfälle und 6.621 umschlossene Strahlenquellen eingelagert /BFS 01/. Die endgelagerte Abfallmenge besitzt eine Gesamaktivität von $3,8 \cdot 10^{14}$ Bq (Beta- und Gammastrahler) sowie $2,3 \cdot 10^{11}$ Bq (Alpha-Strahler) /DBE 08c/.

Seit dem Einlagerungsende wird das Bergwerk offengehalten und überwacht und es werden Instandhaltungsmaßnahmen ausgeführt. Im Jahr 2001 verzichtete der Bund unwiderruflich auf die weitere Einlagerung im ERAM. Seit April 2002 ist die Endlagerung radioaktiver Abfälle auch gesetzlich verboten /BFS 05/.

Seitdem werden die Arbeiten zur Stilllegung des Endlagers vorangetrieben. Durch die Stilllegungsmaßnahmen wird der sichere Abschluss der radioaktiven Abfälle von der Biosphäre hergestellt und die Langzeitsicherheit gewährleistet. Für das erforderliche Planfeststellungsverfahren wurde ein umfangreiches Stilllegungskonzept erarbeitet /BFS 05/. Im September 2005 überreichte das BfS die für die Öffentlichkeitsbeteiligung notwendigen Unterlagen für die Stilllegung (Planunterlagen) dem Umweltministerium des Landes Sachsen-Anhalt als zuständiger Genehmigungsbehörde. Erst nach einem positiven Bescheid der Genehmigungsbehörde kann mit der eigentlichen Stilllegung des ERAM begonnen werden. Für die Stilllegungsarbeiten wird eine Dauer zwischen 15 und 20 Jahren veranschlagt. Die Kosten für die Stilllegung wurden 2005 auf etwa 1,2 Milliarden Euro geschätzt /BFS 05/.

Die Bewertung der gebirgsmechanischen Situation auf der Basis von geomechanischen Messungen und Modellrechnungen zeigte, dass das Grubengebäude Bartensleben trotz des hohen Durchbauungsgrades im Zentralteil derzeit standsicher ist. Der Nachweis einer dauerhaften Integrität der Salzbarriere konnte jedoch nicht geführt werden. Daher war eine frühestmögliche Stabilisierung des Zentralteils geboten und auch vom Bergamt Staßfurt aus bergsicherheitlichen Gründen gefordert.

Um der zunehmenden Gefährdung entgegenzuwirken, hat das BfS am 08.10.2003 mit der vorgezogenen Verfüllung von ausgewählten Bereichen im Zentralteil begonnen /BFS 05/. Im Rahmen dieser "bergbaulichen Gefahrenabwehr im Zentralteil" (bGZ) sollen insgesamt 20 große Hohlräume, in denen keine radioaktiven Abfälle lagern, mit ei-

Zur In-situ-Verfestigung flüssiger Abfälle wurde die Abfallflüssigkeit anfangs zusammen mit Braunkohlefilterasche in die Einlagerungshohlräume eingebracht /BFS 01/. Diese Methode führte jedoch zu einer nur unzureichenden Verfestigung und hatte zur Folge, dass Abfallflüssigkeit in tiefer gelegene Grubenhohlräume abfloss. Die Einlagerungstechnik wurde daher umgestellt und fortan Braunkohlefilterasche und radioaktive Flüssigkeit über Versturzlöcher abwechselnd und großflächig in den Einlagerungskammern verteilt. Die Flüssigkeit konnte auf diese Weise in die Filterasche einsickern, so dass sich ein festes Endprodukt bildete. Das Einbringen flüssiger radioaktiver Abfälle wurde mit der Übernahme des ERAM durch das BfS eingestellt.

Für die Stapelung fester Abfälle in 200-Liter- bis 600-Liter-Fässern und Betonbehältern wurde zunächst das Westfeld auf der 4. Sohle genutzt. Nach weitgehender Verfüllung dieses Bereiches wurde die Einlagerung im Ostfeld fortgesetzt (Abb. 19). Das Entladen des Transportfahrzeuges und das Stapeln der Abfallgebände erfolgten mittels Gabelstapler. Es wurden maximal fünf 200-Liter-Fässer übereinander gestapelt, woraus sich eine maximale Stapelhöhe von 4,50 m ergab /BFS 01/.



Abb. 19 ERA Morsleben: Einlagerungshohlraum mit gestapelten Fässern im Ostfeld der Grube Bartensleben /BFS 01/

Für den Versturz fester Abfälle wurden die Abbaue des Südfeldes genutzt. Die angelieferten Abfallgebände wurden über Tage in einen wiederverwendbaren Primärcontainer gesetzt und auf der 4. Sohle fernbedient in die darunter liegenden Einlagerungshohlräume auf der 5a-Sohle (-395 m NN) entleert (Abb. 20). Nach erfolgtem Versturz wurde der leere Primärcontainer nach Freigabe wieder nach über Tage verbracht /BFS 01/.

Nach Beendigung der Einlagerung wurde der verbliebene Resthohlraum in den einzelnen Einlagerungshohlräumen in der Regel vollständig verfüllt. Als Versatzmaterialien wurden Braunkohlefilterasche und Salzgrus verwendet. Salzgrusversatz wurde im einfachen Schüttverfahren eingebracht. Die Verfüllung mit Braunkohlefilterasche erfolgte im Dichtestromverfahren, mit dem das Asche/Luft-Gemisch in Rohrleitungen über größere Entfernungen und zu schwer zugänglichen Orten transportiert werden konnte /BFS 01/.

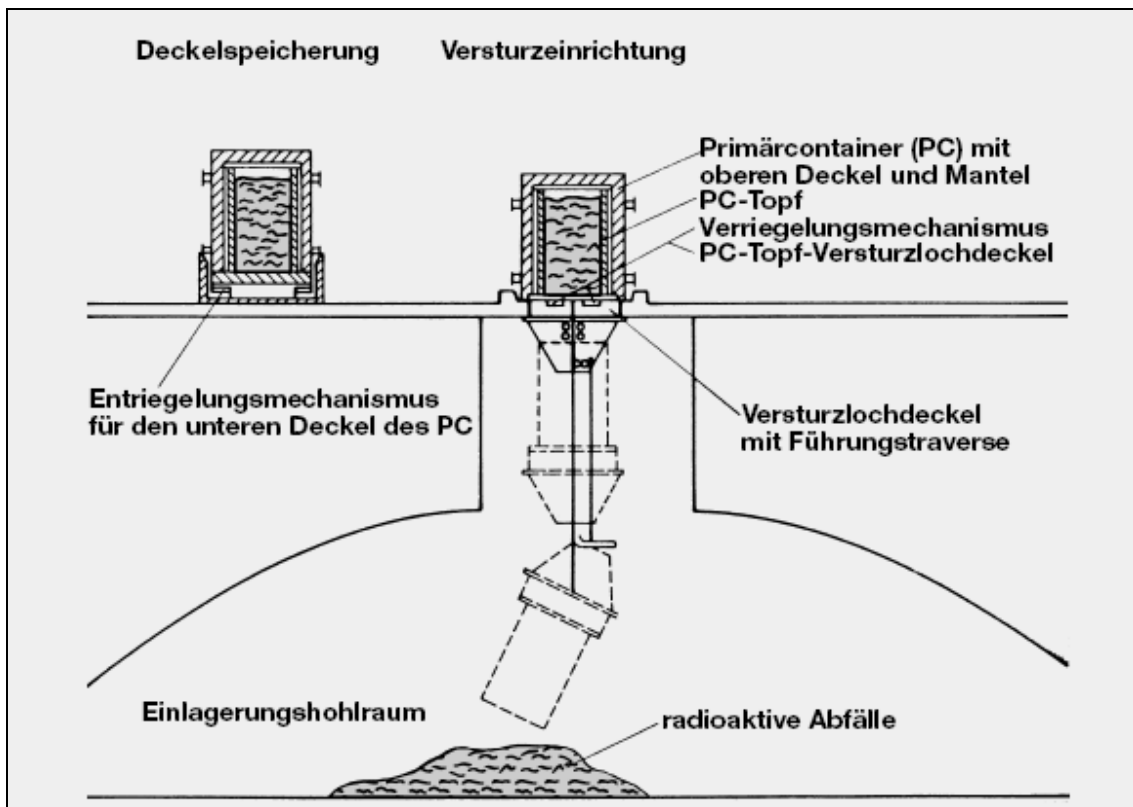


Abb. 20 ERA Morsleben: Prinzipdarstellung der Versturztechnik im Südfeld der Grube Bartensleben /BFS 01/

Stilllegung des ERAM

Die Stilllegung des Endlagers umfasst das Verschließen der untertägigen Grubenbaue und der beiden Schächte Bartensleben und Marie sowie den Rückbau der Anlagen über Tage. Ziel der Stilllegung ist die dauerhafte Isolation der radioaktiven Abfälle von der Biosphäre und die Gewährleistung der Langzeitsicherheit. Das Endlager muss so verfüllt und verschlossen werden, dass von den Abfällen auch in Zukunft keine unzulässigen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt zu besorgen sind. Grundlage für die Verfüll- und Verschlussmaßnahmen sind die Anforderungen aus der Sicherheitsanalyse zur Gewährleistung der radiologischen Schutzziele gemäß AtG sowie die Anforderungen zum Schutz der Tagesoberfläche.

Im Rahmen des Stilllegungsvorhabens werden die für das Planfeststellungsverfahren erforderlichen Unterlagen erarbeitet. Hierzu wurden umfassende Untersuchungen zur geologischen und gebirgsmechanischen Standortbeschreibung durchgeführt und die Standsicherheit des Grubengebäudes und die Integrität der Salzbarriere mit umfangreichen Modellrechnungen bewertet. Die Auswirkungen der Stilllegung auf die Schutzgüter Menschen, Tiere und Pflanzen, Boden, Wasser, Luft, Klima und Landschaft sowie Kultur- und sonstige Sachgüter werden in einer Umweltverträglichkeitsstudie dargestellt und beurteilt, die vom BfS gemäß des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) erstellt wurde.

Für die Stilllegung des ERAM wurden mehrere Stilllegungsvarianten mit unterschiedlichen technischen Barrieren entwickelt und untersucht. Als am besten geeignet erwies sich ein Stilllegungskonzept, das sowohl stabilisierende als auch abdichtende Maßnahmen vorsieht /BFS 01/. Dieses Konzept, das in Abb. 21 anhand eines schematischen Schnittes durch das zukünftige verfüllte und verschlossene Grubengebäude Bartensleben dargestellt ist, umfasst weitgehende Abdichtungsmaßnahmen im weiteren Umfeld der Einlagerungsgrubenbaue. Hierzu sollen Abdichtungen mit definierten hydraulischen Eigenschaften errichtet werden, die den Zutritt von Lösungen und den Transport von Radionukliden langfristig behindern sollen. Zur Reduzierung des Resthohlraumvolumens soll das gesamte Grubengebäude möglichst vollständig verfüllt werden. Zur Stabilisierung des Grubengebäudes werden ausgewählte Hohlräume mit Stützversatz verfüllt. Die beiden Schächte Bartensleben und Marie werden mit Schachtverschlüssen verschlossen.

Kreide und des Tertiär blieben in subrosionsbedingten Einsenkungen über der Salzstruktur Allertal erhalten.

Die Allertalzone wurde durch die Kompression zu einer Aufschiebungszone umgeformt und die bestehenden Salzstrukturen remobilisiert. In der Salzstruktur Allertal führte dies zur Ausbildung eines ausgeprägten NW-SE-streichenden Faltenbaus. Die Sattelkerne der Salzstruktur werden aus den salinaren Einheiten der Staßfurt-Folge aufgebaut, während in den Mulden Einheiten von der Leine-Folge bis zur Aller-Folge auftreten (Abb. 22). Der Westteil der Salzstruktur zeichnet sich durch einen engen isoklinalen Faltenbau mit großen Faltenhöhen aus, in dem die Falten eine ausgeprägte NE-Vergenz besitzen. Im Ostteil geht der Faltenbau in eine offene Faltung mit deutlich geringerer Faltenhöhe über /BFS 01/.

Im Vergleich zu anderen Salzstrukturen Norddeutschlands wird ein relativ hoher Anteil der salinaren Schichten (ca. 20 %) vom Hauptanhydrit eingenommen /BEH 01/. Der Hauptanhydrit blieb beim Aufstieg der salinaren Schichten aufgrund seines spröde-elastischen Verhaltens meist in den tieferen Bereichen der Mulden zurück. Er wurde bei der Verfaltung der Salzstruktur in einzelne Schollen zerlegt. Im Hauptanhydrit treten häufig Klüfte auf, die jedoch meist verheilt sind. Bei den angetroffenen Kluftsystemen mit offener Klüftung handelt es sich um geschlossene, isolierte Systeme.

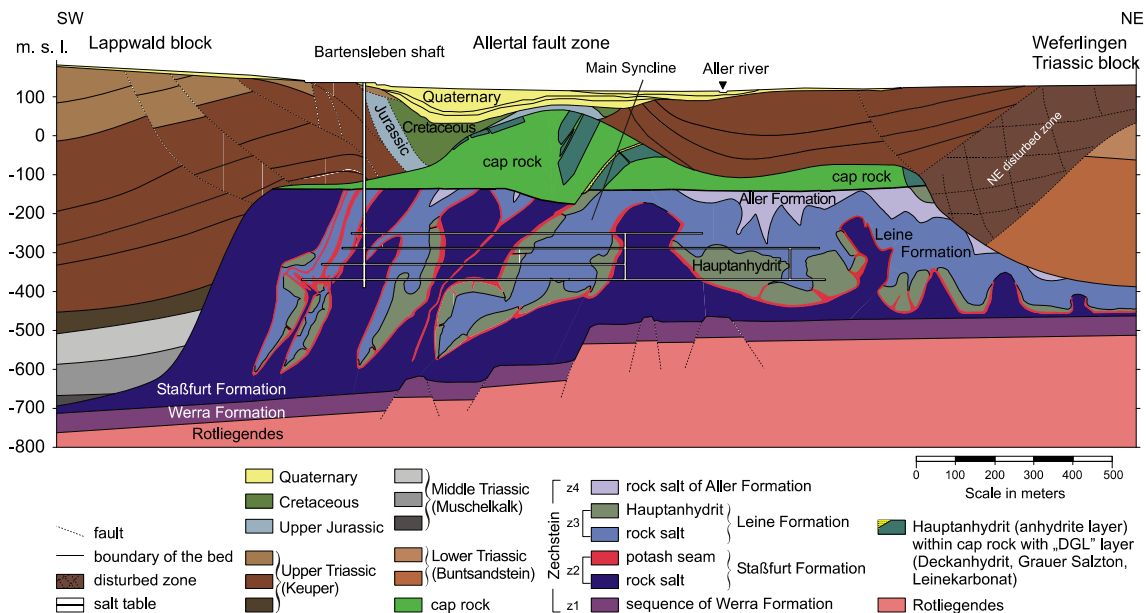


Abb. 22 Schematischer geologischer SE-NW-Schnitt durch die Salzstruktur Allertal im Bereich der Grube Bartensleben /BRW 08/

Der Aufstieg des Salzes bis nahe an die Erdoberfläche führte seit der Oberkreide zu einer tiefreichenden Subrosion mit der Entwicklung eines bis zu 240 m mächtigen Hutgesteins. Der Salzspiegel liegt weitgehend flachsöhlig in einer mittleren Tiefe von -140 m NN /BAL 00/. An einigen Stellen treten Eintiefungen des Salzspiegels auf, die hauptsächlich im Bereich der Westflanke der Hauptmulde liegen, wo der Hauptanhydrit und das Kaliflöz Staßfurt am Salzspiegel ausstreichen (Abb. 22). Dort treten auch die größten Hutgesteinsmächtigkeiten auf. In den anderen Bereichen der Salzstruktur reicht der Hauptanhydrit nur selten bis zum Salzspiegel. Die Hutgesteinsmächtigkeiten sind in diesen Bereichen deutlich geringer. Dies lässt darauf schließen, dass der Hauptteil des Salzes im Bereich der Hauptmulde zuwanderte und beim Aufstieg subrodiert wurde.

Das subrosiv überprägte Hutgestein ist hydraulisch dicht. Unter den gegenwärtigen Klimabedingungen kann aufgrund der Mächtigkeit des Hutgesteins und des überlagernden Deckgebirges eine ausgedehntere Subrosion am Salzspiegel ausgeschlossen werden. Eine potenzielle Zutrittsgefährdung der Grube Bartensleben durch oberflächennahes Grundwasser kann im Hutgestein über die Schichtenfolge „DGL“ (Deckanhydrit, Grauer Salzton, Leinekarbonat) unterstellt werden, die entlang der Westflanke der Hauptmulde Anschluss an potenzielle Wegsamkeiten im Salinar hat (Abb. 22). Die potenziellen Zutrittsmengen sind jedoch gering, da die Schichtenfolge „DGL“ nur geringmächtig ist, häufig absetzt und nur eine geringe hydraulische Durchlässigkeit aufweist /LAN 99/.

Eine neuere Darstellung der geologischen Verhältnisse und ihrer Relevanz für die Langzeitsicherheit des ERAM ist in /BRW 08/ publiziert.

4 Literatur

(Hinweis: dieses Literaturverzeichnis enthält alle in diesem Anhang zitierte Literatur)

- /AND 07/ Andersson, J.; Ahokas, H.; Hudson, J.A.; Koskinen, L.; Luukkonen, A.; Löfman, J.; Keto, V.; Pitkänen, P.; Mattila, J.; Ikonen, A.T.K.; Ylä-Mella, M.: Olkiluoto Site Description 2006. - Posiva Oy, Posiva 2007-03, Helsinki, 2007.
- /BAL 00/ Balzer, D.: Lithostratigraphie, Fazies, Strukturbau und subrosive Entwicklung des Hutgesteins über der Allertal-Salzstruktur zwischen Alleringersleben und Beendorf (Sachsen-Anhalt, Bundesrepublik Deutschland). - Geol. Jb., A 154, 85 p., 2000.
- /BEH 01/ Behlau, J.; Mingerzahn, G.: Geological and tectonic investigations in the former Morsleben salt mine (Germany) as a basis for the safety assessment of a radioactive waste repository. - Engineering Geology, Vol. 61, p. 83-97, 2001.
- /BES 00/ Best, G.; Zirngast, M.: Die strukturelle Entwicklung der exhumierten Salzstruktur "Oberes Allertal". - Geol. Jb., Sonderheft, A 1, 100 p., 2000.
- /BFS 90a/ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Fortschreibung des zusammenfassenden Zwischenberichtes über bisherige Ergebnisse der Standortuntersuchung Gorleben vom Mai 1983. - ET-2/90, 299 S., Salzgitter, 1990.
- /BFS 90b/ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Plan Endlager für radioaktive Abfälle. - Kurzfassung, Stand: 9/86, in der Fassung 4/90, Schachtanlage Konrad Salzgitter, Braunschweig, 1990.
- /BFS 01/ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Endlager Morsleben - Das Endlager für radioaktive Abfälle vor der Stilllegung, Stand: 2001. - <http://www.bfs.de/transport/bfs/druck/broschueren/morsleben.html> (04.01.2007).

Anhang Endlagerstandorte

- /BFS 05/ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Einlegeblatt zur Broschüre „Endlager Morsleben“, Stand: September 2005. -
<http://www.bfs.de/de/bfs/druck/broschueren/Einlegeblatt.pdf> (18.01.2008).
- /BFS 06/ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Endlagerung radioaktiver Abfälle als nationale Aufgabe. -
http://www.bfs.de/druck/broschueren/Endlagerung_national.pdf
(04.12.2006).
- /BFS 08a/ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Hauptbetriebsplan für die Errichtung des Endlagers Konrad zugelassen. - BfS-Pressemitteilung 01/08 vom 17.01.2008, <http://www.bfs.de/de/bfs/presse/pr08/pr0801.html>
(18.01.2008).
- /BFS 08b/ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Wie es um die geologischen Verhältnisse steht. -
http://www.endlager-konrad.de/nn_1072864/DE/Experteninformation/Geologie/_node.html?_nnn=true (22.07.2008).
- /BFS 08c/ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Warum Wasser Konrad nichts anhaben kann. -
http://www.endlager-konrad.de/nn_1072864/DE/Experteninformation/Hydrogeologie/_node.html?_nnn=true (22.07.2008).
- /BGR 04/ Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR): Hydrogeologisches SW-NO Profil, Stand: 2004. -
http://www.bgr.bund.de/cln_029/nn_454716/sid_DB94C61CDD3E4392179D280E4DEBA02/DE/Themen/Wasser/Bilder/Was_konrad_image17_g.html_nnn=true (21.07.2006).
- /BGR 07a/ Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR): Erkundungsstandort Gorleben. -
http://www.bgr.bund.de/cln_029/nn_458748/DE/Themen/Geotechnik/Endlagerstandorte/Gorleben/gorleben_node.html_nnn=true (17.01.2007).

- /BGR 07b/ Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR): Schachtanlage Konrad. - http://www.bgr.bund.de/cln_029/nn_458630/DE/Themen/Geotechnik/Endlagerstandorte/Konrad/konrad_node.html_nnn=true (17.01.2007).
- /BGR 07c/ Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR): Morsleben. - http://www.bgr.bund.de/cln_029/nn_458748/DE/Themen/Geotechnik/Endlagerstandorte/Morsleben/morsleben_node.html_nnn=true (17.01.2007).
- /BMU 05/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Verordnung zur Festlegung einer Veränderungssperre zur Sicherung der Standorterkundung für eine Anlage zur Endlagerung radioaktiver Abfälle im Bereich des Salzstocks Gorleben. - Gorleben-Veränderungssperren-Verordnung - Gorleben VSpV vom 25. Juli 2005 (BAnz. Nr. 153a vom 16. August 2005).
- /BOR 08/ Bornemann, O.; Behlau, J.; Fischbeck, R.; Hammer, J.; Jaritz W.; Keller, S.; Mingerzahn, G.; Schramm, M.: Standortbeschreibung Gorleben, Teil 3: Ergebnisse der über- und untertägigen geologischen Erkundung des Salinars. - Geol. Jb., C 73, Hannover, 2007.
- /BRW 82/ Brewitz, W. (Ed.): Eignungsprüfung der Schachtanlage Konrad für die Endlagerung radioaktiver Abfälle. - GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH, GSF-T 136, GSF Neuherberg, 1982.
- /BRW 08/ Brewitz, W.; Droste, J.; Stier-Friedland, G.: Geological features of the Morsleben repository and their relevance for long-term safety. - In: Rempe, N.T. (ed.): Deep Geologic Repositories, Geological Society of America Reviews in Engineering Geology, Vol. XIX, p. 53-66, Boulder, Colorado, USA, 2008.
- /BVG 07/ Bundesverwaltungsgericht (BVerwG): BVerwG 7 B 72 - 75.06 - Beschlüsse vom 26. März 2007. - Bekannt gemacht als Pressemitteilung des BVerwG vom 03.04.2007.

- /DBE 08a/ Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe (DBE): Erkundungsbergwerk Gorleben. - <http://www.dbe.de/de/betriebe/gorleben/1/index.php> (22.07.2008).
- /DBE 08b/ Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe (DBE): Schachtanlage Konrad (Salzgitter). - <http://www.dbe.de/de/betriebe/konrad/1/index.php> (22.07.2008).
- /DBE 08c/ Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe (DBE): Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM). - <http://www.dbe.de/de/betriebe/morsleben/1/index.php> (22.07.2008).
- /DEU 06/ Deutscher Bundestag: Antwort der Bundesregierung auf die Große Anfrage der Abgeordneten Hans-Josef Fell, Cornelia Behm, Winfried Hermann, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN. - Drucksache 16/1605, Gestaltung einer ergebnisoffenen transparenten Endlagersuche mit großer Öffentlichkeitsbeteiligung. - Drucksache 16/2690 vom 22.09.2006.
- /DOE 80/ U.S. Department of Energy (DOE): Final Environmental Impact Statement for the Waste Isolation Pilot Plant. - U.S. Department of Energy (DOE), DOE/EIS-0026, Washington, DC, 1980.
- /DOE 96/ U.S. Department of Energy (DOE): Waste Isolation Pilot Plant Compliance Certification Application. - U.S. Department of Energy (DOE), Carlsbad, New Mexico, 1996.
- /DOE 02/ U.S. Department of Energy (DOE): Final Environmental Impact Statement for a Geologic Repository for the Disposal of Spent Nuclear Fuel and High-Level Radioactive Waste at Yucca Mountain, Nye County, Nevada. - U.S. Department of Energy (DOE), DOE/EIS-0250, Washington, 2002. http://www.eh.doe.gov/NEPA/eis/eis0250/vol_1/Vol1_chpt_5-4.pdf
- /DOE 06/ U.S. Department of Energy (DOE): Yucca Mountain Repository - About the Project. - http://www.ocrwm.doe.gov/ym_repository/about_project/index.shtml (21.07.2006).

- /DOE 08a/ U.S. Department of Energy (DOE): Yucca Mountain Repository Conceptual Design Images. -
http://www.ocrwm.doe.gov/info_library/newsroom/photos/photos_repository.shtml (08.05.2008).
- /DOE 08b/ U.S. Department of Energy (DOE): Waste Isolation Pilot Plant. -
<http://www.wipp.energy.gov> (13.05.2008).
- /EPA 05/ Environmental Protection Agency (EPA): EPA's Proposed Public Health and Environmental Radiation Protection Standards for Yucca Mountain. - EPA Yucca Mountain Fact Sheet #2, EPA 402-F-05-026, 2005.
- /KLI 07/ Klinge, H.; Boehme, J.; Grissmann, C.; Houben, G.; Ludwig, R.-R.; Rübél, A.; Schelkes, K.; Schildknecht, F.; Suckow, A.: Standortbeschreibung Gorleben, Teil 1: Die Hydrogeologie des Deckgebirges des Salzstocks Gorleben. - Geol. Jb., C 71, 147 S., Hannover, 2007.
- /KÖH 07/ Köthe, A.; Hoffmann, N.; Krull, P.; Zirngast, M.; Zwirner, R.: Standortbeschreibung Gorleben, Teil 2: Die Geologie des Deck- und Nebengebirges des Salzstocks Gorleben. - Geol. Jb., C 72, 201 S., 42 Abb., 19 Tab., Hannover, 2007.
- /LAN 99/ Langkutsch, U.; Käbel, H.; Balzer, D.: Hydrogeologische Kennzeichnung des Hutgesteins über der Allertal-Salzstruktur. - Z. angew. Geol., Vol. 45 (2), p. 89-95, 1999.
- /NEA 02/ Nuclear Energy Agency (NEA); International Atomic Energy Agency (IAEA): An International Peer Review of the Yucca Mountain Project TSPA-SR - Total System Performance Assessment for the Site Recommendation (TSPA-SR). - Joint Report by the OECD Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency, 97 p., NEA-3682, Paris, 2002.
- /POS 00/ Posiva Oy: Disposal of spent fuel in Olkiluoto bedrock, programme for research, development and technical design for the pre-construction phase. - Posiva 2000-14, Helsinki, 2000.

- /POS 07/ Posiva Oy: Repository - Picture Material (06.02.2007). -
[http://www.posiva.fi/englanti/tietopankki_kuvat.html?sstring=&avuosi=1990
&luusi=2010&kuva=on&lang=eng&sort=file](http://www.posiva.fi/englanti/tietopankki_kuvat.html?sstring=&avuosi=1990&luusi=2010&kuva=on&lang=eng&sort=file) (25.04.2008).
- /POS 08/ Posiva Oy: ONKALO structure. -
http://www.posiva.fi/englanti/tutkimus_esittely.html (25.04.2008).
- /POW 07/ Powers, D.W.: Waste Isolation Plant - Candidate Site Geology. -
www.phys.vt.edu/~dusel/workshop/DUSEL/Waste%20Isolation%20Pilot%20Plant%20DUSEL%20presentation.ppt (19.01.2007).
- /REM 04/ Rempe, N.T.: WIPP: Highlights from the first five years of disposal operations. - In: Proc. of DisTec (Disposal Technologies and Concepts) International Conference on Radioactive Waste Disposal, 26-28 April 2004, Kontec Gesellschaft für technische Kommunikation mbH, p. 238-240, Berlin, 2004.
- /REM 06/ Rempe, N.T.: Persönliche Kommunikation, 2006.
- /REM 07/ Rempe, N.T.: Eight Years WIPP Progress. - Proc. Reposafe 2007, International Conference on Radioactive Waste Disposal in Geological Formations, November 6-9, 2007, Braunschweig, 2007.
- /WIT 01/ Witherspoon, P.A.; Bodvarsson, G.S.: Geological Challenges in Radioactive Waste Isolation - Third Worldwide Review. - Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL-49767, 335 S., Berkeley, USA, 2001.
<http://www.osti.gov/energycitations/purl.cover.jsp?purl=/801948-WzYiMZ/native/> (02.03.2007).
- /WIT 06/ Witherspoon, P.A.; Bodvarsson, G.S.: Geological Challenges in Radioactive Waste Isolation - Fourth Worldwide Review. - Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL-59808, 283 S., Berkeley, USA, 2006.
<http://www-esd.lbl.gov/NW/pdfs/lbnl-59808-wwr4.pdf> (21.07.2008)

5 Weiterführende Literatur

(Hinweis: Dieses Verzeichnis enthält als Ergänzung wichtige weiterführende Literatur zum Thema dieses Anhangs, die in diesem Anhang nicht explizit zitiert wurde. Zitierte Literatur findet sich im "Literaturverzeichnis")

Die weiterführende Literatur ist alphabetisch nach den einzelnen Endlagerstandorten wie folgt geordnet:

1. Gorleben
2. Konrad
3. Morsleben
4. Olkiluoto
5. Wipp-Site
6. Yucca-Mountain

1. Gorleben

Bornemann, O.: Zur Geologie des Salzstocks Gorleben nach den Bohrergebnissen. - BfS-Schriften, Vol. 4/91, 67 S., 13 Abb., 24 Anl., Salzgitter, 1991.

Hund, W.; Stier-Friedland, G.; Greve, D.; Jaritz, W.: Geowissenschaftliches Untersuchungsprogramm bei der untertägigen Erkundung des Salzstockes Gorleben von unter Tage. - Salzgitter, April 1991, ET-IB-48, 1991.

Klinge, H.; Köthe, A.; Ludwig, R.-R.; Zwirner, R.: Geologie und Hydrogeologie des Deckgebirges über dem Salzstock Gorleben. - Z. angew. Geol., Vol. 48 (2), S. 7-15; Hannover, 2002.

Zirngast, M.: Die Entwicklungsgeschichte des Salzstocks Gorleben - Ergebnis einer strukturgeologischen Bearbeitung. - Geol. Jb., A 132, S. 3-31, Hannover, 1991.

Zwirner, R.; Zirngast, M.; Köthe, A.: Der Aufbau des Deckgebirges und die Strukturentwicklung des Salzstocks Gorleben. - Z. geol. Wiss., Vol. 32 (5/6), S. 327-351, Berlin, 2004.

2. Konrad

Brewitz, W.: Eisenerzbergwerk Konrad - ein zukünftiges Endlager. Ablauf und Ergebnisse der Eignungsprüfung in der Schachanlage Konrad für die Endlagerung radioaktiver Abfälle, Zusammenfassung. - GSF-Bericht GSF-T 137, Neuherberg, 1982.

Kühn, K.: Strategie der Endlagerung radioaktiver Abfälle am Beispiel der Grube Konrad. - 2. VDI-KTG-Kolloquium „Perspektiven der Kernenergie“, Dresden, 9. Oktober 2007.

3. Morsleben

Albrecht, H.; Balzer, D.; Käbel, H.; Langkutsch, U.; Lotsch, D.; Putscher, S.; Ziermann, H.: Geological setting of the Morsleben radioactive waste repository, with emphasis on hydrogeological modeling. - In: Proc. of the 5th International Conference on Radioactive Waste Management and Environmental Remediation (ICEM), 3-7 September 1995, Berlin (Eds. Slate, S.; Baker, R.; Benda, G.), ASME (American Society of Mechanical Engineers), p. 1289-1293, New York, 1995.

Best, G.: Floßtektonik in Norddeutschland: Erste Ergebnisse reflexionsseismischer Untersuchungen an der Salzstruktur "Oberes Allertal". - Z. dt. geol. Ges., Vol. 147 (4), S. 455-464, 1996.

Best, G.; Zirngast, M.: Reconstruction of the structural development of the exhumed Upper Allertal Salt Structure. - Journal of Conference Abstracts, Vol. 4, p. 518, 1999.

Brennecke, P.; Schrimpf, C.: Disposal of waste in mines - An introduction to Morsleben. - In: Proc. of DisTec (Disposal Technologies and Concepts) International Conference on Radioactive Waste Disposal, 26-28 April 2004, Kontec Gesellschaft für technische Kommunikation mbH, p. 278-290, Berlin, 2004.

Büttner, K.; Heusermann, S.: Geomechanical stability and integrity of the salt barrier in the central part of the Morsleben repository. - In: Proc. of DisTec (Disposal Technologies and Concepts), International Conference on Radioactive Waste Disposal, 26-28 April 2004, Kontec Gesellschaft für technische Kommunikation mbH, p. 329-336, Berlin, 2004.

Eilers, G.; Mauke, R.; Gläß, R.; Preuss, J.; Fischle, W.; Linn, M.; Schmidt, H.; Müller-Hoeppe, N.; Schrimpf, C.: Sealing of the Morsleben Repository, Germany. - Proc. Waste Management Conference 2003, February 23-27, 2003, Tucson, Arizona (USA), 2003.

- Fahland, S.; Heusermann, S.: Messung und Berechnung von Gebirgsspannungen im ERA Morsleben zur Beurteilung des Tragverhaltens alter Abbaufelder. - Messen in der Geotechnik 2006, Mitteilung des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik, TU Braunschweig, Heft 82, S. 113-132, Braunschweig, 2006.
- Herrmann, A. G.: Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM). Lösungszuflüsse in den Grubenfeldern Marie und Bartensleben: Stoffbestand, Herkunft, Entstehung. - BfS-Schriften, Vol. 5/92, 481 p., 1992.
- Heusermann, S.; Nipp, H.-K. (2000): ERA Morsleben. Gebirgsmechanische Beurteilung der Integrität der Salzbarriere in der Schachanlage Bartensleben. - Abschlussbericht, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Archiv-Nr. 0120259, Hannover, 2000.
- Käbel, H.; Ranft, M.: Die geologische Langzeitbewertung des Endlagers Morsleben. - Geol. Jb., Hannover (BGR) (in preparation)
- Kreienmeyer, M.; Schmidt, H.; Gläß, F.; Mauke, F.: Central part of the Morsleben repository - geomechanical situation before stabilisation. - In: Proc. of DisTec (Disposal Technologies and Concepts), International Conference on Radioactive Waste Disposal, 26-28 April 2004, Kontec Gesellschaft für technische Kommunikation mbH, p. 312-317, Berlin, 2004.
- Lorenz, S.; Müller, W.; Wollrath, J.: Long term safety analyses for the near field of the ERAM repository using two-phase flow modelling. - In: Proc. of DisTec (Disposal Technologies and Concepts), International Conference on Radioactive Waste Disposal, 26-28 April 2004, Kontec Gesellschaft für technische Kommunikation mbH, p. 364-373, Berlin, 2004.
- Müller-Hoeppe, N.; Kreienmeyer, M.; Eilers, G.; Köster, R.: Stabilization of the Central Part of the Morsleben Repository (bGZ) - Safety of Transient Situations During the Stabilization Process. - In: Proc. of DisTec (Disposal Technologies and Concepts), International Conference on Radioactive Waste Disposal, 26-28 April 2004, Kontec Gesellschaft für technische Kommunikation mbH, p. 379-382, Berlin, 2004.

- Müller-Hoeppe, N.; Polster, M.; Schmidt, H.; Mauke, R.; Preuss, J.: Closure of the Morsleben repository - design of drift seals and proof of safety. - In: Proc. of DisTec (Disposal Technologies and Concepts), International Conference on Radioactive Waste Disposal, 26-28 April 2004, Kontec Gesellschaft für technische Kommunikation mbH, p. 318-321, Berlin, 2004.
- Niemeyer, M.; Resele, G.; Preuss, J.; Wollrath, J.: Probabilistic Safety Assessment for the Morsleben Repository. - In: Proc. of DisTec (Disposal Technologies and Concepts), International Conference on Radioactive Waste Disposal, 26-28 April 2004, Kontec Gesellschaft für technische Kommunikation mbH, p. 374-378, Berlin, 2004.
- Storck, R.; Becker, D.; Rübel, A.; Hirsekorn, P.; Preuss, J.; Wollrath, J.: The safety case of the Morsleben repository. - In: Proc. of DisTec (Disposal Technologies and Concepts), International Conference on Radioactive Waste Disposal, 26-28 April 2004, Kontec Gesellschaft für technische Kommunikation mbH, p. 292-302, Berlin, 2004.
- Storck, R.; Becker, D.-A.; Buhmann, D.; Hirsekorn, R.-P.; Meyer, T.; Noseck, U.; Rübel, A.: Endlager Morsleben. Modellrechnungen zur Langzeitsicherheit mit dem Rechenprogramm EMOS. - Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-A-3185, Köln, 2004.
- Weidenbach, J.; Fischle, W.; Mauke, R.; Rathke, C.: Central Part of the Morsleben Repository - Geotechnical Monitoring Programme. - In: Proc. of DisTec (Disposal Technologies and Concepts), International Conference on Radioactive Waste Disposal, 26-28 April 2004, Kontec Gesellschaft für technische Kommunikation mbH, p. 339-342, Berlin, 2004.
- Wildenborg, A. F. B.; Gerardi, J.: Long-term prediction of the geological barrier state at the ERA Morsleben radioactive waste repository (Germany). - Journal of Conference Abstracts, Vol. 4, p. 518-519, 1999.

4. Olkiluoto

POSIVA OY: Nuclear waste management of the Olkiluoto and Loviisa power plants:
Programme for research, development and technical design for 2004-2006.
- TKS-2003, 294 S., Olkiluoto, 2003.

POSIVA OY: Safety Case Plan 2008. - Olkiluoto, 2008.

5. Yucca Mountain

Environmental Protection Agency (EPA): EPA's Proposed Public Health and Environmental Radiation Protection Standards for Yucca Mountain. - EPA Yucca Mountain Fact Sheet #2, EPA 402-F-05-026, 2005.

U.S. Department of Energy (DOE): Yucca Mountain Science and Engineering Report. Technical Information Supporting Site Recommendation Consideration, Revision 1. - U.S. Department of Energy (DOE), Office of Civilian Radioactive Waste Management, DOE/RW-0539-1, Las Vegas, Nevada, USA, 2002.

6. WIPP

Hansen, F.D.: The Disturbed Rock Zone at the Waste Isolation Pilot Plant. - Sandia National Laboratories, SAND2003-3407, Albuquerque, New Mexico, USA, 2003.

Hansen, F.D.; Callahan, G. D.; van Sambeek, L.L.: Reconsolidation of salt as applied to permanent seals for the Waste Isolation Pilot Plant. - 6th Int. Conference on Mechanical Behavior of Salt, September 1993, Palaiseau, France, 1993.

Winter, C. u. a.: Waste Isolation Pilot Plant. - Sandia National Laboratories, SAND-84-2326, Albuquerque, New Mexico, USA, 1985.