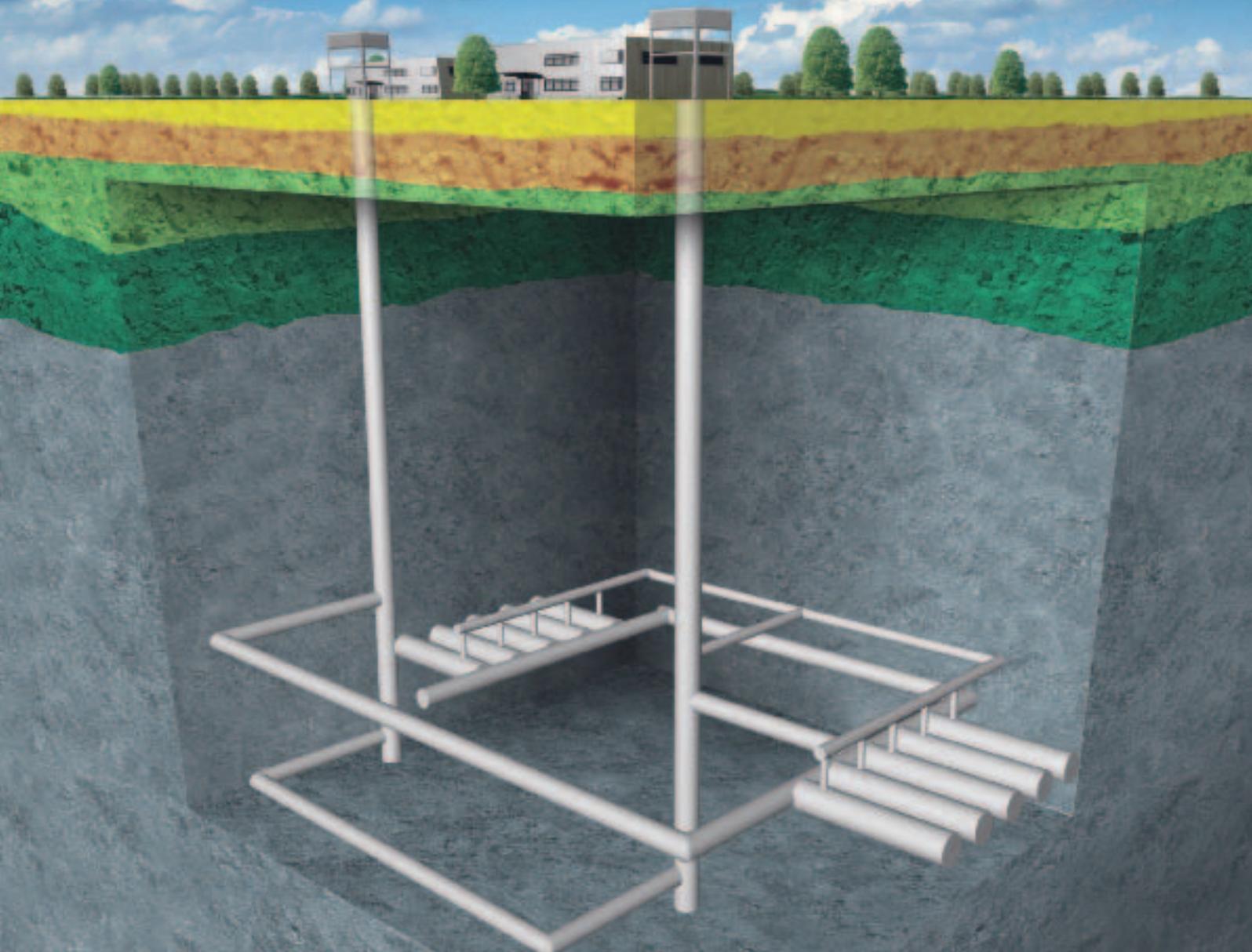


ENDLAGERUNG RADIOAKTIVER ABFÄLLE ALS NATIONALE AUFGABE



Herausgeber: Bundesamt für Strahlenschutz
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Postfach 100149
38201 Salzgitter
Tel.: 01888/333-1130
Fax: 01888/333-1150
E-Mail: info@bfs.de
Internet: <http://www.bfs.de>

Redaktion: Dr. Michael Mehnert

Das Kapitel „Erkundungsstandort Gorleben“ wurde von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, als eigenständiger Teil erarbeitet.

Das Bildmaterial stellten DBE, BGR, BfS zur Verfügung.

Auf Literaturhinweise wurde verzichtet. Angaben können bei der Redaktion nachgefragt werden.

Grafik: BfS, Werbeagentur Linie

Satz u. Druck: braunschweig-druck GmbH
Druck · Verlag · Medien
Ernst-Böhme-Str. 20
38112 Braunschweig

© 2005 Bundesamt für Strahlenschutz

Gedruckt auf Recyclingpapier

EDITORIAL

Das Problem der Endlagerung radioaktiver Abfälle wurde zu Beginn der Nutzung der Atomkraft in Deutschland in den sechziger Jahren unterschätzt. So schrieb Carl Friedrich v. Weizsäcker noch 1969 dazu:

„Dieses ist, soweit ich sehen kann, wenn man es ernstlich behandeln will, überhaupt kein Problem ... Ich habe mir in Karlsruhe sagen lassen, dass der gesamte Atommüll, der in der Bundesrepublik im Jahr 2000 vorhanden sein wird, in einen Kasten hineinginge, der ein Kubus von 20 m Seitenlänge ist. Wenn man das gut versiegelt und verschließt und in ein Bergwerk steckt, dann wird man hoffen können, dass man damit dieses Problem gelöst hat.“

Mit der „Vereinbarung zwischen der Bundesregierung und den Energieversorgungsunternehmen“ und mit ihrer gesetzlichen Absicherung durch die Novelle des Atomgesetzes vom April 2002 konnte das Problem des Atommülls zumindest in seiner Mengendimension begrenzt werden. Die mit der Atomgesetznovelle 1976 vom Bund übernommene Daueraufgabe der Einrichtung von Endlagern für radioaktive Abfälle reduziert sich damit darauf, für eine klar kalkulierbare Menge an radioaktiven Abfällen eine dauerhaft sichere Endlagermöglichkeit innerhalb der Grenzen der Bundesrepublik Deutschland zu schaffen. Ziel ist es, bis zum Jahr 2030 ein betriebsbereites Endlager für alle Arten radioaktiver Abfälle zur Verfügung zu stellen. Die Abfälle – vor allem die hoch radioaktiven – stammen im Wesentlichen aus der Atomkraftnutzung zur Stromerzeugung in Deutschland. Als erste gingen das Versuchsatomkraftwerk Kahl 1961 und das Kernkraftwerk Rheinsberg (ehemalige DDR) 1966 in Betrieb, das letzte Atomkraftwerk wird voraussichtlich im Jahr 2021 abgeschaltet werden. Wichtige Schritte auf dem Weg zur Endlagerung sind das Auffinden eines geeigneten Standorts, die Planung des Lagers, die Durchführung des Genehmigungsverfahrens mit Öffentlichkeitsbeteiligung und schließlich Errichtung und Betrieb selbst. Wie die Erfahrungen in der Vergangenheit zeigen, ist der geplante Zeitraum bis 2030 dafür knapp bemessen.

Eine wesentliche Kritik an der Standortsuche in der Vergangenheit in Deutschland – insgesamt wurden bisher sechs Standortvorauswahlverfahren durchgeführt – ist das Fehlen eines ergebnisoffenen, transparenten und systematischen Suchverfahrens. Als Reaktion auf die Kritik wurde in der Koalitionsvereinbarung nach den Bundestagswahlen 1998 ein besonderes Verfahren zur Standortsuche vereinbart und vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz

und Reaktorsicherheit (BMU) 1999 der Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AkEnd) eingerichtet. 16 vom BMU berufene Fachleute aus den Gebieten Geowissenschaften, Physik, Kerntechnik, Bergbau, Bauingenieurwesen, Öffentlichkeitsarbeit und Sozialwissenschaften hatten die Aufgabe, wissenschaftlich fundierte Suchkriterien und ein nachvollziehbares Standortauswahlverfahren zu entwickeln. Am Ende der Phase I wurden die erarbeiteten Kriterien und Verfahrensvorschläge der nationalen und internationalen Fachwelt und der interessierten Öffentlichkeit vorgestellt. Damit endete die Arbeit des AkEnd. Nach Vorstellungen des AkEnd ist in einer Phase II das Verfahren festzulegen und in einer Phase III das eigentliche Standortauswahlverfahren unter repräsentativer Beteiligung der gesellschaftlichen und politischen Kräfte durchzuführen.

Die vorliegende Broschüre zeigt den bisherigen Weg zur Endlagerung von radioaktiven Abfällen in Deutschland auf. Neben den inzwischen schon historischen Entwicklungen im gesellschaftlichen und politischen Raum werden detaillierte Untersuchungsergebnisse zum geplanten Endlager Schacht Konrad und zum Erkundungsstandort Gorleben veranschaulicht.

Die beiden Standorte zeigen exemplarisch die komplexen Fragestellungen bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle. Die in dieser Broschüre vermittelten Informationen sollen in erster Linie konkrete Beispiele für die weiteren Diskussionen und Entscheidungen auf dem Weg hin zu einem Endlager zur Verfügung stellen.

In der vorliegenden Broschüre wird versucht, sowohl die historischen Entwicklungen der Endlagerproblematik in Deutschland insgesamt als auch die konkreten Erkundungs- und Untersuchungsergebnisse zum Schacht Konrad und zum Erkundungsstandort Gorleben festzuhalten. Die allgemeinen Entwicklungen im Endlagerbereich im gesellschaftlichen Kontext sind im Kapitel 3 zu finden.

Die Erkundungs- und Untersuchungsergebnisse und wesentliche Punkte der Langzeitsicherheitsbetrachtungen zum geplanten Endlager Schacht Konrad schließen sich im Kapitel 4 an.

Die Erkundungs- und Untersuchungsergebnisse und damit Aussagen zur Hydrogeologie am Standort Gorleben und zur Geologie des Salzstocks, wie sie bis zum Moratorium im Oktober 2000 gewonnen wurden, sind im Kapitel 5 zusammengefasst.

Bei den zu behandelnden Sachverhalten konnte im Text nicht vollständig auf Fachbegriffe verzichtet werden. Diese werden jedoch in einem Glossar am Ende der Broschüre erläutert. Im laufenden Text sind diese durch blaue Schrift gekennzeichnet. Weiterhin finden sich am Schluss der Broschüre eine Übersicht über die Geologie Deutschlands und eine Auflistung der Zeitalter der Erdgeschichte mit Zeitangaben.

Sollte Ihrer Meinung nach ein Begriff aus dem Text trotzdem nicht verständlich sein, sollten Sie Kritik oder Anregungen mitteilen wollen, so senden Sie bitte Ihren Beitrag per e-Mail an info@bfs.de oder per Post an das Bundesamt für Strahlenschutz.

INHALTSVERZEICHNIS

EDITORIAL	1
1 KERNENERGIE NUTZUNG IN DEUTSCHLAND	5
1.1 Kernenergie n utzung in der ehemaligen Deutschen Demokratischen Republik	5
1.2 Kernenergie n utzung in der Bundesrepublik Deutschland	7
<i>Kernenergie n utzung in Deutschland heute</i>	9
2 RADIOAKTIVE ABFÄLLE	11
2.1 Abfallarten	11
2.2 Abfallherkunft	11
2.3 Abfallmengen	12
3 ENTSORGUNG RADIOAKTIVER ABFÄLLE	14
3.1 Entsorgung in der DDR und Endlagerung in den neuen Bundesländern	14
<i>Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM)</i>	14
3.2 Entsorgung in der Bundesrepublik	16
<i>Salzkavernenprojekt und Versenkung im Meer</i>	16
<i>Asse</i>	16
<i>Schachtanlage Konrad</i>	16
<i>Standortsuche des Bundes für das „Nukleare Entsorgungszentrum“</i>	21
<i>Standortsuche des Landes Niedersachsen – die Entscheidung für Gorleben</i>	22
<i>Trennung von Wiederaufarbeitungsanlage und Endlager</i>	24
<i>Studien zur Suche nach Endlagerstandorten auch außerhalb Niedersachsens</i>	25
<i>Sicherheitskriterien für die Endlagerung und Entscheidung zur untertägigen Erkundung des Salzstocks Gorleben</i>	25
<i>Der Brennstoffkreislauf und das Entsorgungskonzept</i>	26
<i>Weitere Suche potentieller Standorte</i>	28
<i>Atomausstieg und Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AkEnd)</i>	29
<i>Erkundungsbergwerk Gorleben</i>	29
4 SCHACHTANLAGE KONRAD	32
4.1 Erkundung	32
4.2 Geologie	33
4.3 Hydrogeologie	35
4.4 Geologische Langzeitprognosen, Sicherheitsanalysen und Langzeitsicherheitsnachweis	38
<i>Geologische Langzeitprognose und Gebirgsmechanik</i>	38
<i>Sicherheitsanalysen für die Betriebs- und Nachbetriebsphase, Langzeitsicherheitsnachweis</i>	39
5 ERKUNDUNGSSTANDORT GORLEBEN	43
5.1 Entwicklung der Salzstruktur Gorleben	43
5.2 Erkundung des Salzstocks	46
5.3 Hydrogeologie	48
5.4 Geologie des Salzstocks	51
<i>Selektive Subrosion des Kaliflözes Staßfurt</i>	51
<i>Vorkommen von Salzlösungen, Gasen und Kohlenwasserstoffen im Salzstock</i>	54
<i>Hauptanhydritschollen</i>	54
<i>Nachgewiesene Verbreitung des Hauptsalzes</i>	55
<i>Geochemische Charakterisierung der Salzgesteine des Zechstein 2 und 3</i>	55
6 GLOSSAR	56

1 KERNENERGIENUTZUNG IN DEUTSCHLAND

Ausgangspunkt für die zivile Nutzung der Kernenergie war die „1. Internationale Konferenz über die friedliche Verwendung der Atomenergie“ im August 1955 in Genf, auf der die USA und die Sowjetunion überraschend die strikte Geheimhaltung von Ergebnissen der Kernforschung und -technik lockerten und internationale Zusammenarbeit auf diesem Gebiet anboten. Weltweit breitete sich eine Euphorie zur Lösung des Energieproblems aus. So schrieb der Philosoph Ernst Bloch in seinem damals in Arbeit befindlichen Werk „Das Prinzip Hoffnung“:

„... Einige hundert Pfund Uranium und Thorium würden ausreichen, die Sahara und die Wüste Gobi verschwinden zu lassen, Sibirien und Nordkanada, Grönland und die Antarktis zur Riviera zu verwandeln. Sie würden ausreichen, um der Menschheit die Energie, die sonst in Millionen von Arbeitsstunden gewonnen werden mußte, in schmalen Büchsen, höchstkonzentriert, zum Gebrauch fertig darzubieten. ...“

Auf Grund der Zugehörigkeit zum jeweiligen Machtblock nahm die Kernenergienutzung in der Deutschen Demokratischen Republik und der Bundesrepublik Deutschland im weiteren Verlauf bis zur Deutschen Einigung im Jahr 1990 sehr unterschiedliche Wege.

1.1 KERNENERGIENUTZUNG IN DER EHEMALIGEN DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK

Nach dem Krieg wurden zunächst kleinere konventionelle Kraftwerke wieder aufgebaut. Damit konnte bis 1955 lediglich eine Stromerzeugungskapazität von 5.000 Megawatt (MW) zur Verfügung gestellt werden. Erst danach wurden größere Einheiten errichtet. In dieses Klima zunehmenden Baus von Großkraftwerken kamen die erfolgversprechenden Aussagen der 1. Genfer Atomkonferenz. Die SED sah in der Kernforschung und -technik eine besondere politische Bedeutung; der schnelle Aufbau sollte die Leistungsfähigkeit der DDR unterstreichen. Nach Verhandlungen mit der UdSSR wurde bereits 1956 beschlossen, ein erstes Kernkraftwerk mit 50–100 MW Leistung zu bauen. 1957 wurde als Standort Rheinsberg festgelegt, für 1960 war der erste Probelauf geplant.

Ungeachtet der erheblichen Bedenken der Kommission „Elektroenergie aus Kernkraft“ gegen einen vor schnellen Einsatz der Kernkraft wegen zu hoher Stromerzeugungskosten ließ das Amt für Kernforschung und Kerntechnik 1957 verlauten, ab 1965 sei eine



Erste Internationale Konferenz über die friedliche Verwendung der Atomenergie im August 1955 in Genf.

weitere Steigerung der Energiegewinnung aus Braunkohle nicht zu vertreten. Für 1970 wurde hier mit 3.000 MW Erzeugungskapazität aus Kernenergie gerechnet.

Die Sowjetunion lehnte weitere Planungen zur Lieferung einer zweiten Ausbaustufe für Rheinsberg wegen mangelnder Betriebserfahrungen ab. Die anfänglichen Pläne der DDR, Reaktorbau in eigener Regie durchzuführen, wurden Anfang der sechziger Jahre aufgegeben. Man kam zum Schluss, dass ein eventuelles 600-MW-Programm auf der Basis von Kernenergie und die dazu erforderlichen Belastungen der Volkswirtschaft, insbesondere des Maschinenbaues, nicht vertretbar waren. Die Verschärfung der wirtschaftlichen Situation führte 1962 zu einer Zäsur in der Kernenergiepolitik; Kernforschung und Kerntechnik wurden drastischen Kürzungen unterworfen. Trotz negativer Erfahrungen beim Bau des Kernkraftwerks (KKW) Rheinsberg wurde stattdessen im Jahr 1965 mit der Sowjetunion für den Zeitraum 1970 bis 1980 der Import von schlüsselfertigen Kernkraftwerken mit einer Gesamtkapazität von 2.000 MW vereinbart.

Im Jahr 1966 ging das KKW Rheinsberg (70 MW) nach vielen Verzögerungen in Betrieb, ein Jahr dar-

auf wurde in Lubmin bei Greifswald mit dem Bau eines weiteren Kernkraftwerks begonnen. Im Zeitraum von 1973 bis 1978 wurden an diesem Standort insgesamt vier Blöcke zu je 440 MW in Betrieb genommen.

Trotz des Baus von Braunkohle- und Kernkraftwerken stieg das Defizit bei der Stromerzeugung von 900 MW im Jahr 1971 auf 6.200 MW im Jahr 1979. Die Steigerungsmöglichkeiten der Rohbraunkohleförderung waren begrenzt, Kernenergie blieb die wichtigste Zukunftsoption. Konkrete Planungen und Bauarbeiten gab es für den Zubau in Lubmin und an einem neuen Standort bei Stendal.

Im Dezember 1975 ereignete sich in Lubmin ein erster Störfall. Durch Fehlhandlung kam es zu einem Kabeltrassenbrand, der zu einer Schnellabschaltung führte. Die Reaktorwärme wurde fünf Stunden lang durch Verdampfung des Wassers im Sekundärkreislauf abgeführt. Dann stiegen Temperatur und Druck im Primärkreislauf und Sicherheitsventile öffneten. Der Druck sank, aber ein Sicherheitsventil schloss nicht mehr. Erst drei Tage später konnte der Primärkreislauf druckentlastet und das Ventil ausgetauscht werden. Der Störfall wurde geheimgehalten, er wurde erst 1990 öffentlich bekannt.



Luftansicht des Kernkraftwerks Rheinsberg.



Blockwarte des KKW Rheinsberg.

Im September 1982 rückte ein Störfall, bei dem während des Anfahrens des Reaktorblocks 1 in Lubmin Undichtigkeiten in den Dampferzeugern auftraten und die sofortige Außerbetriebnahme notwendig machten, das Problem der nuklearen Sicherheit ins Bewusstsein der politischen Führung. Dies wurde durch den Reaktorunfall von Tschernobyl 1986 nochmals geschärft. Ein besonderer Aufwand bei Reparaturen und vorbeugenden Instandhaltungen sowie erhöhte Qualifikation und Erfahrung des Betriebspersonals waren als Kompensation der sicherheitstechnischen Defizite vorgesehen. Ein ständiger Punkt der Auseinandersetzungen mit dem Lieferanten Sowjetunion war die Bereitstellung von Ersatzteilen.

Ende der 70er Jahre geriet die Kernenergie ins Blickfeld kritischer Personen in der DDR, die in Eingaben an die Staatsführung, in öffentlichen Veranstaltungen und in Zeitungsartikeln Bedenken gegen die Kernenergiepolitik der DDR äußerten. Nach dem Tschernobyl-Unfall wandten sich zahlreiche Umweltgruppen der Kernenergieproblematik zu. Insbesondere an den Standorten laufender oder geplanter Nuklearanlagen wie Rheinsberg, Greifswald, Stendal, Rossendorf und Leipzig wurden Gruppen aktiv. Die Umweltbibliothek in der Zionsgemeinde in Berlin veranstaltete im November 1986 ein Seminar mit dem Thema „Atomkraft in der DDR“ und druckte dazu einen Reader.

Die politische Wende 1989/1990 schuf völlig neue Bedingungen einer deutsch-deutschen Zusammenarbeit. So entstanden Pläne, die Kernkraftwerke sowjetischer Bauart mit westlicher Technologie nachzurüsten. Damit sollte nicht nur das Ziel verfolgt werden, die Sicherheit der ostdeutschen KKW gemäß bundes-

deutscher Gesetzgebung zu gewährleisten, sondern auch eine vermarktbarere Nachrüstkonfiguration für die sowjetischen **WWER-Reaktoren** in Osteuropa insgesamt zu entwickeln. Des Weiteren wurden Gutachten von verschiedenen Seiten erstellt. Konsens bestand in der Außerbetriebnahme der Blöcke 1 bis 4 des KKW Greifswald, Dissens über die Nachrüstmöglichkeiten und Inbetriebnahme der Blöcke 5 bis 8, Block 5 befand sich bereits im Probebetrieb. 1989 wurde die Stilllegung des KKW Rheinsberg für das Jahr 1992 beschlossen. Der Reaktor wurde dann aber nach der Revision 1990 nicht mehr angefahren.

Im Zuge der Neuordnung der Stromwirtschaft zeigten die westdeutschen Energieversorgungsunternehmen, die die Stromversorgung in der DDR übernahmen, wegen mangelnder Nachrüstbarkeit bzw. Wirtschaftlichkeit und ausreichend vorhandener Stromerzeugungskapazität kein ernsthaftes Interesse an einem Weiterbetrieb des Kernkraftwerks Greifswald und einer Fortführung des Kernkraftwerksbaus in Stendal.

1.2 KERNENERGIE NUTZUNG IN DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

Die Ergebnisse der Genfer Konferenz (August 1955) waren für die Bundesrepublik überraschend. Aus diesem „Rückstand-Schock“ heraus beschloss die Bundesregierung im Oktober 1955, ein eigenes Bundesministerium für Atomfragen zu schaffen. Neben der Bündelung personeller und finanzieller Mittel zur Unterstützung der Atomforschung und -technik war die Stärkung der Forschungspolitik auf

Bundesebene ein weiterer Grund; das Atomministerium wurde 1962 zum Bundesministerium für wissenschaftliche Forschung.

In den 1955 in Kraft getretenen Pariser Verträgen verzichtete die Bundesrepublik auf Kernwaffen. Der 1957 geschlossene EURATOM-Vertrag diente der friedlichen Nutzung der Kernenergie, dahinter standen aber auch andere Interessen: Kabinettsintern wurde er als die Möglichkeit gesehen, „auf normale Weise zu nuklearen Waffen zu kommen“.

„... Er fördere die deutsche Entwicklung weniger als daß er sie kontrolliere.“ Doch Adenauer traut dem amerikanischen Atomschirm nun nicht mehr. Schon zwei Wochen zuvor hat er im Kabinett festgestellt: „Deutschland kann nicht Atomprotektorat bleiben.“ Bedauernd bemerkte er, ohne den Verzicht auf Kernwaffen hätte man seinerzeit nicht die Souveränität erhalten. „Aber, wie mir Dulles damals sagte: das gilt alles rebus stantibus.“ Nun antwortet Strauß: „Er möchte über EURATOM auf schnellstem Weg die Möglichkeit erhalten, selbst nukleare Waffen herzustellen.“ Die entsprechende Aufzeichnung von Minister von Merkatz lautet wie folgt: „Abschluß von EURATOM gibt uns auf die Dauer die Möglichkeit, auf normale Weise zu nuklearen Waffen zu kommen. Die anderen, auch Frankreich, sind weiter als wir.“

Ganz offensichtlich denkt er dabei an eine deutsche Option und nicht an europäische Kernwaffen. Kein Gedanke also an dauerhaften Kernwaffenverzicht oder an eine prinzipielle Beschränkung der deutschen Nuklearindustrie auf ausschließlich nicht-militärische Nutzung.

**EURATOM und der Zugang zu nuklearen Waffen
(aus H.-P. Schwarz: Adenauer, Band 2, S. 299)**

Die Entwicklung der Kernenergie wurde während der Laufzeit der vier deutschen Atomprogramme von 1956 bis 1976 aus Mitteln des Bundes und der Länder mit rund 16,7 Milliarden DM (8,5 Mrd. €) gefördert. Nach den alljährlichen Veröffentlichungen in der Zeitschrift „Atomwirtschaft“ und in den „Jahrbüchern der Atomwirtschaft“ ergibt die Abgrenzung der öffentlichen Mittel für den Zeitraum von 1956 bis 1988 – ohne Inflationsausgleich – einen Betrag von rund 62 Milliarden DM (31,7 Mrd. €).

1961 ging das erste Kernkraftwerk – das Versuchsatomkraftwerk Kahl – mit 16 MW in Betrieb. Die Energieversorger blieben aber zunächst zurückhaltend. Wesentlicher Punkt war die noch nicht erwie-



Das Versuchsatomkraftwerk Kahl

sene Wirtschaftlichkeit des Atomstroms gegenüber der im Grundlastbereich verwendeten Braunkohle.

Eine Schlüsselrolle kam der Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerke AG (RWE) zu. Als die sich entwickelnde Reaktorbauindustrie auf Grund ausbleibender Aufträge sich aus dem Reaktorbau zurückziehen drohte, forderte das Bundesforschungsministerium RWE auf, Rahmenbedingungen zusammenzustellen, unter denen in näherer Zukunft der Bau von Kernkraftwerken für machbar gehalten werden. Die Antwort zeugt nicht von einer energiewirtschaftlichen Notwendigkeit für den Bau von Kernkraftwerken. Neben der Sicherung eines steigenden Stromabsatzes durch Weiterwachsen der Industrieproduktion sowie des häuslichen Wohlstandes dürfe die Einführung des Erdgases nicht weiter befördert und müsse die Unsicherheit bei Genehmigungsverfahren beseitigt werden. Erst nachdem die Konkurrenten der RWE insbesondere mit Finanzierungshilfen aus dem Forschungsministerium 1967 zum Bau der KKW Stade und Würgassen gebracht werden konnten, schwenkte RWE 1969 mit dem Auftrag für Biblis um und setzte sich mit dem 1200-MW-Projekt an die Spitze.

Gleichzeitig entwickelte sich auch der Widerstand gegen die Atomenergie, so stieg die Zahl der Einwendungen von gut 100 Einsprüchen gegen das KKW Würgassen (1967) auf knapp 90.000 im Falle des KKW Wyhl (1974). Waren die Auseinandersetzungen in Würgassen noch rein juristischer Art, wurden bei Wyhl mit der Bauplatzbesetzung im Jahr 1975 auch andere Aktionsformen eingesetzt. Die Themen der Auseinandersetzungen bewegten sich von den ökologischen Auswirkungen und der Strahlenbelastung durch den störfallfreien Betrieb über die Möglichkeiten und Auswirkungen von Reaktorstörfällen bis hin

zur Problematik der Entsorgung der radioaktiven Abfälle. Dabei waren der Reaktorstörfall und Fast-Kernschmelze in Harrisburg (USA) im Jahr 1979 und die Katastrophe von Tschernobyl (UdSSR) 1986 wesentliche Meilensteine.

Die letzten Aufträge zur Errichtung von Kernkraftwerken in der Bundesrepublik wurden im Jahr 1982 erteilt. Als letztes ging das KKW Neckarwestheim 2 im Jahr 1989 in Betrieb. Das Projekt **Schneller Brüter Kalkar** wurde nach 18 Jahren 1991 eingestellt. Die 1965 auf 350 Millionen DM (179 Mio. €) veranschlagten Baukosten waren bis dahin auf gut 7 Milliarden DM (3,6 Mrd. €) angewachsen.

Kernenergienutzung in Deutschland heute

Von den insgesamt 36 in Betrieb gegangenen Reaktoren zur Erzeugung elektrischer Energie (Leistungs- und Prototypreaktoren, ohne Forschungsreaktoren) sind 2005 noch 17 Anlagen mit einer Leistung von circa 21.300 MW in Betrieb. Das Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich mit einer Leistung von 1.300 MW musste auf Grund eines Gerichtsbeschlusses abgeschaltet werden. Der Antrag auf Stilllegung wurde 2004



Protestkundgebung gegen das Kernkraftwerk Wyhl

genehmigt. Weitere 19 Anlagen mit rund 6.300 MW befinden sich in der Stilllegung oder sind bereits stillgelegt. Zwei Anlagen – das Kernkraftwerk Niederaichbach und der Heißdampfreaktor Großwelzheim – sind bereits bis zur „grünen Wiese“ zurückgebaut. Dabei wurden alle oberirdischen Anlagen beseitigt. Bei der Finanzierung der Stilllegung und des Rückbaus wird versucht, dem Verursacherprinzip nahe zu kommen. Von den 19 Stilllegungen finanziert die öffentliche Hand 12. Die Stilllegungstechnologie wurde insbesondere an der Anlage Niederaichbach



Der Schnelle Brüter Kalkar als Freizeitpark

und am Heißdampfreaktor Großwelzheim entwickelt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es sich hierbei mit 100 beziehungsweise 25 MW um relativ kleine Anlagen handelte und die Betriebsdauern mit 18 Tagen (Volllastäquivalenttagen) beziehungsweise 8 Tagen sehr gering waren. Als wertvoll wird der Know-how-Transfer von erfolgreich durchgeführten Rückbauprojekten im internationalen Rahmen eingeschätzt. So liefert der Abbau der Kernkraftwerke in Rheinsberg und Greifswald Ergebnisse und Erfahrungen, die für die spätere Stilllegung von sehr ähnlich konstruierten Anlagen in den Ländern Mittel- und Osteuropas sowie der Gemeinschaft Unabhängiger Staaten (GUS) hilfreich sein können.

Im Atomgesetz ist festgelegt, dass die noch laufenden Anlagen in der Regel nach 32 Jahren Gesamtbe-

triebszeit stillgelegt werden. Das bedeutet für das letzte Atomkraftwerk, das KKW Neckarwestheim 2, dass die Regellaufzeit im April 2021 endet. Damit wäre die Nutzung der Atomkraft in Deutschland – von Kahl 1961–1985 über Rheinsberg 1966–1990 bis Neckarwestheim 1989–2021 – nach 60 Jahren beendet. Um die Anlagen in der Restlaufzeit möglichst wirtschaftlich betreiben zu können, wurde für jede Anlage eine Reststrommenge errechnet, die zwecks Flexibilisierung von meist älteren auf in der Regel neuere Anlagen mit erhöhten Sicherheitsstandards übertragen werden kann. Damit könnte sich die Atomkraftnutzung in Deutschland in engen Grenzen auch über das Jahr 2021 hinaus erstrecken.

Eine wichtige Konsequenz aus dem „Atomkonsens“ aus dem Jahr 2000 ist, dass durch die Begrenzung

der noch zu produzierenden Strommengen der einzelnen Atomkraftwerke die Menge an radioaktiven Abfällen, für die eine Endlagerungsmöglichkeit geschaffen werden muss, beschränkt wurde. Lediglich die Nutzung radioaktiver Stoffe in der Forschung, Medizin und Industrie ist einer solchen Beschränkung durch Gesetz nicht unterworfen.

Kraftwerk	Betriebsbeginn	Reststrommenge ab 1.1.2000, gemäß Atomgesetz, Anlage 3 (in TWh netto)	vom 1.1.2000 bis 30.4.2005 erzeugte Strommenge (in TWh netto)	Verbleibende Reststrommenge (in TWh netto)	Ausschöpfungsgrad der Produktionsrechte (in %)	Promisse des Ablaufdatums *
Stade	am 14.11.2003 stillgelegt - über die Verwendung der verbliebenen Reststrommengen wurde noch nicht entschieden					
Obrigheim	am 11.05.2005 stillgelegt - über die Verwendung der verbliebenen Reststrommengen wurde noch nicht entschieden					
Biblis A	1975	62,00	36,11	25,89	58	2008
Neckarwestheim 1	1976	57,35	32,27	25,08	56	2009
Biblis B	1977	81,46	45,86	35,60	56	2009
Brunsbüttel	1977	47,67	24,41	23,26	51	2009
Isar / Ohu 1	1979	78,35	35,52	42,83	45	2011
Unterweser/Esensh.	1979	117,98	49,84	68,14	42	2012
Philippsburg 1 **	1980	87,14	41,23	45,91	47	2011
Grafenrheinfeld	1982	150,03	54,01	96,02	36	2014
Krümmel	1984	158,22	48,41	109,81	31	2016
Gundremmingen B	1984	160,92	53,69	107,23	33	2016
Philippsburg 2	1985	198,61	55,86	142,54	28	2017
Grohnde	1985	200,90	58,15	142,75	29	2017
Gundremmingen C	1985	168,35	52,46	115,89	31	2016
Brokdorf	1986	217,88	59,42	158,46	27	2019
Isar / Ohu 2	1988	231,21	61,91	169,30	27	2020
Emsland / Lingen	1988	230,07	59,07	171,00	26	2020
Neckarwestheim 2	1989	236,04	55,49	180,55	24	2021

* Unter der Voraussetzung, dass ab dem Stichtag die vereinbarte jährliche Strommenge zukünftig gleichmäßig über die Jahre verteilt erzeugt wird. Diese rechnerischen Annahmen können sich z.B. durch Strommengen-Übertragungen auf andere Kraftwerke und Revisions- oder Reparaturzeiten verändern.

** Eine Reststrommenge von 5,5 TWh wurde am 23.01.2003 vom Kraftwerk Philippsburg 1 auf das Kraftwerk Obrigheim übertragen.

Die nach der Vereinbarung zwischen der Bundesregierung und den Energieversorgungsunternehmen für das Kraftwerk Mülheim-Kärlich anzurechnende und auf andere Kraftwerke übertragbare Strommenge von 107,25 TWh netto ist in der Tabelle nicht berücksichtigt.

Reststrommengen für Kernkraftwerke in Deutschland entsprechend der Vereinbarung zwischen Bundesregierung und Energieversorgungsunternehmen

2 RADIOAKTIVE ABFÄLLE

2.1 ABFALLARTEN

Radioaktive Abfälle werden international in drei Klassen eingeteilt: schwach- (LAW), mittel- (MAW) und hochradioaktiv (HAW). Die Grenzziehung zwischen den Klassen ist nicht einheitlich. Bei der Handhabung und beim Transport schwachradioaktiver Abfälle wird wegen der geringen **Aktivität** keine zusätzliche Strahlenabschirmung benötigt. Innerhalb der schwach- und mittelaktiven Abfälle wird noch zwischen kurz- und langlebigen unterschieden. Als langlebig wird der **Radionuklidanteil** mit **Halbwertszeiten** größer als 30 Jahre bezeichnet. Weiterhin wird differenziert zwischen Abfällen mit geringem und höherem Anteil an Alpha-Strahlern. Die Begründung hierfür ist, dass Alpha-Strahlen eine hohe biologische Wirksamkeit besitzen und deshalb die direkte Aufnahme von Alpha-Strahlern z. B. als Staub zu hoher Schädigungswahrscheinlichkeit führt.

So war in der Betriebsgenehmigung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) die Endlagerung beschränkt auf schwach- und mittelaktive Abfälle mit einem Alpha-Strahleranteil von maximal $4 \cdot 10^8$ Becquerel pro Kubikmeter (Bq/m^3). Diese Bedingung galt auch nach 1990, so dass die Anteile der endgelagerten Abfälle aus der kerntechnischen Industrie, den Forschungszentren und aus der **Wiederaufarbeitung** gering waren. Hauptanteil bildeten die Abfälle mit geringer Alpha-Aktivität aus dem Betrieb von Kernkraftwerken und aus der Stilllegung von kerntechnischen Anlagen.

Bei den kurzlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen mit geringer Alpha-Aktivität wird z. B. in den USA, Großbritannien und Frankreich von der Möglichkeit oberflächennaher Endlagerung ausgegangen. In der BRD wurde 1985 diese Klassifikation vor dem Hintergrund der Endlagerplanung ausschließlich in tiefen geologischen Schichten verlassen und ersetzt durch eine Einteilung in

- wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle und
- radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung.

In der Schachtanlage Konrad können nach Planfeststellungsbeschluss ausschließlich radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung endgelagert werden. Dazu gehören alle schwach- und die mittelaktiven Abfälle, bei denen die Temperaturerhöhung an der Wand der Einlagerungskammer durch Zerfallswärme nicht größer als 3 Grad Celsius ist. Das Konzept zu Gorleben sah die Endlagerung wärmeentwickelnder Abfälle im Staßfurt-Salz und von Abfällen

mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung im Leine-Salz des Salzstockes vor.

Zu den wärmeentwickelnden Abfällen zählen **bestrahlte Brennelemente** und das Spaltproduktkonzentrat, die Hülsen und Strukturteile sowie der Feedklärschlamm aus der Wiederaufarbeitung. Alle übrigen radioaktiven Abfälle gehören zu den radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung.

Um die Strahlenschutzanforderungen in der Betriebs- und Nachbetriebsphase einhalten zu können, müssen die Abfälle weiter kategorisiert werden. Damit ergeben sich umfangreiche Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle, die sowohl Abfallproduktgruppen, Abfallbehälterklassen als auch radionuklid-spezifische Aktivitätsbegrenzungen beinhalten.

2.2 ABFALLHERKUNFT

Radioaktive Abfälle fallen überall dort an, wo mit radioaktiven Stoffen umgegangen wird.

Hauptsächlich ist das die Energieerzeugung in Kernkraftwerken. Hier fallen beim Betrieb neben bestrahlten Brennelementen eine Fülle von weiteren



Bei der Wiederaufarbeitung entstehende HAW-Kokillen werden in sogenannten CASTOR-Behältern transportiert.

Betriebsabfällen wie Verdampferkonzentrate, Anlagenteile, Filter, Reinigungsmittel und Schutzkleidung an.

Bei der Wiederaufarbeitung bestrahlter Brennelemente werden die Rückstände verglast und in Formen gegossen, das entstehende Produkt sind die sog. [HAW-Kokillen](#). Auch Strukturteile wie zerschnittene Brennstoffhülsen und andere technologische Rückstände fallen an.

Bei der Stilllegung von Kernkraftwerken und anderen kerntechnischen Anlagen inklusive kerntechnischen Großforschungseinrichtungen fallen ebenfalls viele verschiedenartige radioaktive Abfälle an.

In sonstigen Forschungseinrichtungen, Universitäten, Industriebetrieben und bei der medizinischen Anwendung in Diagnostik und Therapie fallen geringe radioaktive Abfallmengen unterschiedlicher Aktivität an, die in [Landessammelstellen](#) gesammelt und zwischengelagert werden. Bei der Zusammensetzung dieser Abfälle geht die Tendenz weg von langlebigen hin zu kurzlebigen Radionukliden.

2.3 ABFALLMENGEN

Die Kenntnis der bisher angefallenen und in Zukunft zu erwartenden Abfallmengen sind für die Planung von Zwischenlagerkapazitäten und für die Endlagerplanung unerlässlich.

Die Angabe des Volumens erfolgt in Kubikmeter (m^3), wobei Nettovolumen ohne Verpackung und Gebindevolumen unterschieden werden. Weiterhin wird die [Aktivität](#) in Becquerel (Bq) angegeben. Hierbei ist zu beachten, dass die Aktivität auf Grund des radioaktiven Zerfalls im Lauf der Zeit abnimmt. Die exakte Angabe der Aktivität muss also mit einem Stichdatum versehen sein. Bei [bestrahlten Brennelementen](#) ist außerdem die Angabe des Gehalts an radioaktivem Schwermetall in Megagramm ($Mg\ SM = 10^6\ g\ SM = 1\ Tonne\ SM = 1\ t\ SM$) gebräuchlich. Eine Umrechnung der unterschiedlichen Angaben ist nicht möglich.

Die radioaktiven Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung stellen circa 90 % des Volumenanteils dar, enthalten aber nur knapp 2 % der Aktivität. Die wärmeentwickelnden Abfälle haben lediglich einen Volumenanteil von rund 10 %, enthalten aber mehr als 98 % des Aktivitätsinventars, das entsorgt werden muss.

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) ermittelt seit 1984 in jedem Jahr den Bestand an unbehandelten radioaktiven Reststoffen sowie den Anfall, Bestand,

die Zwischenlagerung und den im Folgejahr zu erwartenden Anfall an konditionierten radioaktiven Abfällen. Eine einfache Verfolgung der Abfallmengen von Jahr zu Jahr ist nicht möglich, da verschiedenste Vorgänge die Zahlen verändern können. So nahm z. B. die Menge der Zwischenprodukte dadurch zu, dass bestimmte Abfälle für das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) endlagerfähig konditioniert wurden, aber nicht mehr eingelagert werden konnten und so wieder den Zwischenprodukten zugerechnet wurden. Eine Bestandsaufnahme der bestrahlten Brennelemente erfolgt nicht im Rahmen der Abfallerhebung des BfS, da diese in der Vergangenheit in der Regel nicht als Abfälle deklariert wurden, sondern wird im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) von der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH (GRS) durchgeführt.

Die Abfallerhebung des BfS (ohne bestrahlte Brennelemente) zum Stichdatum 31.12.2001 brachte folgendes Ergebnis:

	vernachlässigbar wärmeentwickelnd	wärmeentwickelnd
Bestand unbehandelter Reststoffe (verwertbarer Reststoffe und Rohabfälle) Ende 2001	42.905 m^3	448 m^3
Bestand Zwischenprodukte Ende 2001	4.675 m^3	0 m^3
Anfall Zwischenprodukte im Jahr 2001	1.194 m^3	0 m^3
Bestand konditionierter Abfälle (inkl. Verpackung) Ende 2001	71.261 m^3	1.559 m^3
Anfall konditionierter Abfälle (inkl. Verpackung) im Jahr 2001	4.068 m^3	65 m^3

Am 31. Dezember 2001 waren insgesamt 118.841 m^3 radioaktive Reststoffe mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung und etwa 2.000 m^3 wärmeentwickelnde radioaktive Reststoffe vorhanden. In dem Bestand an wärmeentwickelnden Abfällen sind außer den ausgedienten Brennelementkugeln des Thorium-Hochtemperaturreaktors (THTR) keine bestrahlten Brennelemente aus Leistungsreaktoren enthalten. Die THTR-Brennelementkugeln wurden vom Betreiber als Abfall deklariert und erscheinen deshalb in der Abfallstatistik des BfS.

Neuere Zahlen liegen noch nicht vor, da sich bei der Abfallerhebung längere Bearbeitungszeiten ergeben.

Dies ist darauf zurückzuführen, dass 59 Stellen ([Landessammelstellen](#), Forschungseinrichtungen, Kraftwerke, Kerntechnische Industrie usw.) anzufragen sind und die gelieferten Zahlen einer Plausibilitätsprüfung unterzogen werden müssen, die zu oft langwierigen Rückfragen führen.

Ein Teil der Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung ist bereits entsorgt. 1967 wurden 80 Fässer im Nord-Ost-Atlantik versenkt, im Versuchsendlager Asse befinden sich 42.000 m³ (Gebindevolumen) und im ehemaligen Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) etwa 36.800 m³ (Nettovolumen). Diese kommen in der oben angegebenen Abfallerhebung zum 31. Dezember 2001 nicht mehr vor.

Für Endlagerplanungsarbeiten ist es erforderlich, Prognosen über das zukünftige Abfallaufkommen aller Abfallklassen zu erstellen. Dabei sind insbesondere die Beendigung der Nutzung der Kernenergie für die Stromerzeugung sowie die Beendigung der Wiederaufarbeitung von Bedeutung.

Die Prognosen für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung werden auf der Grundlage der Entwicklungen in den Verursachergruppen Kernkraftwerke, stillgelegte Kernkraftwerke, [Wiederaufarbeitung](#), kerntechnische Industrie, [Landessammelstellen](#) und Sonstige erstellt. Danach wird das Aufkommen an radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung wie folgt abgeschätzt.

	Prognostizierte Abfallgebundevolumina bis zum Jahr		
	2030	2040	2080
Prognose Stand 1999	271.000 m ³	293.000 m ³	303.000 m ³
Prognose Stand 2004	257.000 m ³	269.000 m ³	279.000 m ³

Damit haben sich die Prognosewerte innerhalb von fünf Jahren aus unterschiedlichsten Gründen erheblich verringert.

Seit Beginn der Nutzung der Atomenergie sind in deutschen Kernkraftwerken bis 31. Dezember 2002 insgesamt rund 10.500 t SM [bestrahlter Brennelemente](#) angefallen. 5.700 t SM dieser Brennelemente wurden in die Wiederaufarbeitungsanlagen nach Frankreich und Großbritannien transportiert.

Durch die festgelegte Reststrommenge bleibt die Gesamtmasse der Brennelemente, die sich derzeit in Deutschland befindet und entsorgt werden muss, begrenzt. Mit den bis zum Jahresabschluss 2002 bereits angefallenen rund 9.380 t SM und den gegebenenfalls ebenfalls zu entsorgenden teilabgebrannten Brennelementen mit einer Menge von etwa 1.200 t SM ist dann mit maximal circa 17.200 t SM zu rechnen (Basis 2002). Ohne die in die Wiederaufarbeitung bis zum 30. Juni 2005 transportierte Menge ist aus heutiger Sicht mit rund 10.000 t SM an bestrahlten Brennelementen für die direkte Endlagerung zu rechnen.

Aus dem Betrieb der Wiederaufarbeitungsanlagen in Frankreich und Großbritannien sind die hochradioaktiven, wärmeentwickelnden Abfälle in Form von [HAW-Kokillen](#) zurückzunehmen. Es sind dabei die Verträge mit COGEMA und BNFL sowie die völkerrechtlichen Vereinbarungen zwischen den jeweiligen Regierungen über die Rücknahme der Abfälle zu beachten. Vom 01. Juli 2005 gerechnet werden die Materialien aus den Wiederaufarbeitungsanlagen noch etwa zehn Jahre lang nach Deutschland zurück transportiert. Auf der Grundlage der Verträge gilt dies für rund 100 Behälter mit HAW-Kokillen. Mit den bereits in Deutschland befindlichen 51 Behältern mit HAW-Kokillen (Stand 2004) ergibt sich eine Gesamtanzahl von voraussichtlich 150 Behältern mit jeweils 28 HAW-Kokillen.

Bei einem Sofortausstieg im Jahr 2000 wären nach im Rahmen der Arbeiten des [AkEnd](#) vom Forschungszentrum Karlsruhe erstellten Rechnungen bis zum Jahr 2040 circa 260.000 m³ Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung, 4.648 HAW-Kokillen aus der Wiederaufarbeitung und 2.700 t bestrahlte Brennelemente zur direkten Endlagerung angefallen. Dabei wurden die wärmeerzeugenden mittelradioaktiven Abfälle nicht berücksichtigt.

Die Menge der wärmeentwickelnden Abfälle hängt stark von der Nutzungsdauer der Atomkraft ab. Unter den Bedingungen des Atomgesetzes (Laufzeit 32 Jahre) fallen ab 01. Januar 2005 etwa 5.800 t SM bestrahlte Brennelemente an. Bei Laufzeiten von 40 Jahren wären es etwa 9.200, bei 60 Jahren sogar rund 17.500 t SM. Dies gilt nicht für die Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung, da hier die Stilllegungsabfälle und die Abfälle aus den Großforschungseinrichtungen einen großen Anteil haben.

3 ENTSORGUNG RADIOAKTIVER ABFÄLLE

3.1 ENTSORGUNG IN DER DDR UND ENDLAGERUNG IN DEN NEUEN BUNDESLÄNDERN

Mit der Entscheidung zum Bau einer größeren Anzahl von Kernkraftwerksblöcken im Jahr 1965 war auch zu klären, was mit den radioaktiven Abfällen geschehen soll. Auf der Grundlage international vorliegender Erkenntnisse entschied man sich für die zentrale Endlagerung der radioaktiven Abfälle in einem Salzbergwerk. Mit der Sowjetunion bestanden Verträge zur Rücknahme der **bestrahlten Brennelemente**. So wurden in einem speziell für das KKW Rheinsberg gebauten Containertransportzug bis 1986 die bestrahlten Brennelemente in die damalige Sowjetunion transportiert. Insofern war die Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen nicht notwendig. Für die Endlagerung von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen wurden in der DDR liegende Salzbergwerke unter folgenden Aspekten betrachtet:

- Geomechanische Stabilität des Grubengebäudes,
- Hydrogeologische Situation unter dem Aspekt von Zuflüssen,
- Sicherheit der Schächte,
- sonstige sicherheitstechnische Belange (z. B. Abstände zu den Grenzen der Lagerstätte, Lage der benachbarten Gruben, Gasausbrüche usw.),

- vorhandene Grubenräume und deren Eignung für Nachnutzung,
- Verkehrslage,
- Zustand der Tagesanlagen,
- Zeitpunkt einer möglichen Nutzung und
- Kosten der Übernahme beziehungsweise Umrüstung.

In die vergleichende Bewertung wurden zehn Schachtanlagen (siehe auch Grafik „Geologie Deutschlands und bisher näher diskutierte Endlagerstandorte“ auf Seite 4) einbezogen, die bereits stillgelegt waren oder deren Stilllegung bereits beschlossen war. Die Wahl fiel auf die Steinsalzgrube Bartensleben bei Morsleben.

Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM)

1970 wurde mit der Einrichtung des Endlagers für radioaktive Abfälle begonnen. Nach einer Probe-phase wurde vorerst mit einer auf fünf Jahre befristeten Genehmigung und ab 1986 mit einer unbefristeten Dauerbetriebsgenehmigung zur Erfassung und Endlagerung niedrig- bis mittelradioaktiven Abfalls der Einlagerungsbetrieb durchgeführt.

Im Sicherheitsbericht 1989 wurden **Langzeitsicherheitsbetrachtungen** durchgeführt. Danach war nach



Transportwagen für abgebrannte Brennelemente des KKW Rheinsberg in die Sowjetunion



Radioaktive Abfälle im Endlager Morsleben

der Nutzung als Endlager eine Füllung des Grubengebäudes mit einer konzentrierten Salzlösung vorgesehen. Ausgehend von der Freisetzung der **Radionuklide** aus dem Abfall, der Verteilung im Grubengebäude und dem Transport durch die Geosphäre wurde die potenzielle Strahlenexposition in der Biosphäre errechnet. Bei den zu Grunde gelegten Rahmenbedingungen und verwendeten Modellen ergaben die Rechnungen, dass die international anerkannten Schutzziele eingehalten werden. Das Staatliche Amt für Atomsicherheit und Strahlenschutz (SAAS) bemängelte allerdings 1990 in einer Stellungnahme, dass sich die Langzeitsicherheitsanalyse lediglich auf drei Radionuklide stützt, die stellvertretend für Radionuklidgruppen betrachtet wurden.

Die Dauerbetriebsgenehmigung für das Endlager radioaktiver Abfälle Morsleben (ERAM) ging bei der Wiedervereinigung als befristete Errichtungs- und Betriebsgenehmigung auf das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) über.

1997 erhob der Landesverband Sachsen-Anhalt des Bundes für Umwelt und Naturschutz (BUND) Klage und konnte sich 1998 mit einem Eilantrag auf Unterlassung der weiteren Einlagerung im Ostfeld des ERAM durchsetzen. Das BfS setzte die Annahme und Einlagerung radioaktiver Abfälle daraufhin insge-

samt aus. 1999 gab es bekannt, die Einlagerung werde nicht wieder aufgenommen. Gemeinsames Ziel des antragstellenden BfS und des Umweltministeriums des Landes Sachsen-Anhalt ist es, das **Planfeststellungsverfahren** für die Stilllegung des Endlagers zu beschleunigen. Von den insgesamt rund 36.750 Kubikmetern endgelagerten radioaktiven Abfalls wurden bis 1991 circa 40 % eingelagert, 60 % von 1994 bis 1998; etwa 44 % stammen aus den Kernkraftwerken Rheinsberg und Greifswald, 37 % aus Kernkraftwerken der alten Bundesländer und 19 % aus sonstigen Quellen wie Forschungseinrichtungen, **Landessammelstellen** und der Bundeswehr.

Neben den endgelagerten radioaktiven Abfällen befinden sich im ERAM mehrere Behälter mit radioaktiven Abfällen, die lediglich zwischengelagert sind. Deren Volumenanteil ist gering. Die **Aktivität** der endgelagerten Abfälle beträgt etwa $2 \cdot 10^{14}$ Bq, die der zwischengelagerten Abfälle ca. $4,5 \cdot 10^{14}$ Bq (Bezugszeitpunkt Anfang 2005).

Von 1990 bis 2004 sind Kosten von 629 Millionen € entstanden, die Einnahmen aus der Einlagerung von radioaktiven Abfällen betragen 153 Millionen €.

Die im Sicherheitsbericht 1989 dargelegte Sicherung durch Flutung des Grubengebäudes mit einer konzentrierten Salzlösung entspricht weder den von der Bundesrepublik 1983 entwickelten und bei der Endlagerung angewandten „Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk“ noch dem Stand von Wissenschaft und Technik und wird deshalb nicht weiter verfolgt.

Im Zuge einer atomrechtlichen Gefahrenabwehrmaßnahme mussten im Südfeld in den Jahren 2000 und 2001 Verfüllmaßnahmen durchgeführt werden. Seit 2003 werden Teile des Zentralteils zur bergbaulichen Gefahrenabwehr mit Salzbeton verfüllt.

Das nach § 9 b Atomgesetz vorgeschriebene Planfeststellungsverfahren mit Öffentlichkeitsbeteiligung zur Stilllegung und damit Verschluss des Bergwerks wurde beantragt. Antragsteller ist das BfS, Planfeststellungsbehörde das Umweltministerium des Landes Sachsen-Anhalt. Nach dem Vorliegen eines Planfeststellungsbeschlusses wird für die Stilllegungsarbeiten mit einem Zeitraum von 17 Jahren gerechnet.

Mit der Atomgesetznovelle 2002 wurde die Befristung der Genehmigung für das ERAM aufgehoben, dafür aber generell die Annahme weiterer radioaktiver Abfälle untersagt, auf die das BfS bereits vorher rechtswirksam verzichtet hatte. Damit ist die von der ehemaligen DDR erteilte Dauerbetriebsgenehmigung nur noch Rechtsgrundlage für die Offenhaltung des ERAM bis zum Beginn der Stilllegung.

3.2 ENTSORGUNG IN DER BUNDESREPUBLIK

Im „Memorandum der Deutschen Atomkommission“ von 1957 – auch „Erstes deutsches Atomprogramm“ oder „500 MW-Programm“ genannt – wurde unter dem Punkt „Strahlenschutz“ auf die notwendigen Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Entsorgung von radioaktiven Abfällen hingewiesen.

„...Diese müssen sich vor allem auf die sichere Beseitigung oder Verwertung radioaktiver Rückstände sowie auf die Dekontamination von radioaktiven Verunreinigungen erstrecken...“

Salzkavernenprojekt und Versenkung im Meer

In Zusammenarbeit der Gesellschaft für Atomtechnik, Karlsruhe, der Gesellschaft für Strahlenforschung (GSF) und EURATOM begannen 1963 Arbeiten zur Einlagerung von radioaktiven Abfällen in **Salzkavernen**. Ein Auswahlverfahren führte zum Salzstock Bunde in Ostfriesland. Nach Ablehnung durch den Kreistag, durch Widerstand einer Interessengemeinschaft der Industrie- und Handelskammer Leer und der Weigerung des Landbesitzers, sein Land für den Zweck zu verkaufen, scheiterte das Projekt 1967 an diesem Standort. Eine Prototyp-Speicherkaverne wurde später im Bergwerk Asse verwirklicht.

1967 wurden 80 Fässer mit radioaktiven Abfällen circa 800 km vor der portugiesisch-spanischen Küste im Atlantik versenkt.

Asse

Ausgehend von der internationalen Diskussion zur Endlagerung radioaktiver Abfälle in Salzformationen wurde das aufgelassene Salzbergwerk Asse II 1965 von der Bundesregierung erworben und der GSF zur Betriebsführung übergeben. 1967 begann ein Versuchsprogramm. Von 1967 bis 1978 wurden fast alle damals angefallenen radioaktiven Abfälle in diesem Bergwerk versuchsweise endgelagert. Die Genehmigung zur versuchsweisen Einlagerung radioaktiver Abfälle lief Ende 1978 aus. Insgesamt wurden 125.787 Fässer mit einer Gesamtaktivität von $3,1 \cdot 10^{15}$ Bq (Bezugszeitpunkt Anfang 2002) eingelagert.

Eine Fortsetzung der Einlagerung hätte nach der Novelle des Atomgesetzes von 1976, in der die Zuständigkeiten und Verfahrensweisen bei Sicherstellung und der Endlagerung radioaktiver Abfälle grundlegend geregelt wurden, im Zuge eines **Planfeststellungsverfahrens** genehmigt werden müssen. Eine Übergangsregelung wurde im Gesetz nicht festgelegt. Zwar wurde am 30. August 1979 die Einleitung eines Planfeststellungsverfahrens für die End-

lagerung radioaktiver Abfälle in der Schachtanlage Asse von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) beantragt. Dieser Antrag wurde aber nicht weiter verfolgt.

Schon seit 1980 wird die Standsicherheit des Grubengebäudes durch Verfüllung von Grubenbauen gesichert. Bis 1989 geschah das mit Material aus dem Bergwerk selbst, seit 1995 mit Rückstandsalzen von der Halde des ehemaligen Kalisalzbergwerks Ronnenberg bei Hannover. Die Rückstandssalze werden per Bahn zum Bergwerk transportiert und dort unter Zumischung der in das Forschungsbergwerk eindringenden Salzlösung in die ehemaligen Abbaukammern eingeblasen. Betreiber der Anlage ist das GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, eine Gesellschaft in der Trägerschaft der Bundesrepublik Deutschland und des Freistaats Bayern. Die finanziellen Mittel für die Stilllegung werden durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung bereitgestellt.

Es wird davon ausgegangen, dass die vor 1976 erteilten Genehmigungen nach Strahlenschutzverordnung und dem Atomrecht den endgültigen Verbleib der Abfälle abdecken und die für die Verfüllung noch anzustellenden Sicherheitsbetrachtungen auch im Rahmen eines bergrechtlichen Verfahrens ohne Öffentlichkeitsbeteiligung ausreichend geprüft und bewertet werden können. Der dazu notwendige Abschlussbetriebsplan ist bergrechtlich zu genehmigen, die endgültige Verschließung des Bergwerks wird dann noch etwa 15 Jahre in Anspruch nehmen.

Schachtanlage Konrad

1975 wurden in der circa 20 km westlich von Asse II auf dem Gebiet der Stadt Salzgitter gelegenen, damals noch betriebenen Eisenerzgrube Konrad erste Voruntersuchungen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle durchgeführt. 1976 wurde der Produktionsbetrieb wegen Unwirtschaftlichkeit eingestellt. Der Betriebsrat der Schachtanlage und andere schlugen der Bundesregierung vor, die Grube als Endlager auszubauen, um die günstige geologische Situation zu nutzen und die damalige Stammebelegschaft von 60 Personen weiter beschäftigen zu können. Die Untersuchung zur Eignung des Bergwerks als Endlager wurde fortgesetzt. Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) stellte 1982 einen Antrag auf Einleitung eines Planfeststellungsverfahrens (§ 9 b Atomgesetz).

Die vorgelegten, vier Aktenordner umfassenden Antragsunterlagen enthielten hauptsächlich eine grundsätzliche geologische Eignungsaussage und bedurften nach Aussage der PTB noch wesentlicher,



Verfüllung: Ein Luftstrom bläst Salz in eine alte Abbaukammer der Asse

insbesondere sicherheitstechnischer Ergänzungen. Dazu wurde ein umfangreiches Standorterkundungsprogramm gestartet. Der Plan wurde dann in der Version 9/86 über 70 Behörden und Naturschutzverbänden zur Stellungnahme vorgelegt. Wiederum ergab sich Nachbesserungsbedarf. Im Frühjahr 1989 reichte die PTB den Plan in der Fassung 3/89 beim inzwischen zuständigen Niedersächsischen Umweltministerium ein. Das Ministerium bestätigte die Auslegungsreife und bereitete die öffentliche Bekanntmachung vor. Am 16. Mai 1989 verfügte jedoch der damalige Ministerpräsident Ernst Albrecht (CDU), die Auslegung des Plans sei auf Eis zu legen. Die geplante Auslegung des Planes Konrad in der Fassung 3/89 fand nicht statt. Vor einer Fortführung des Verfahrens verlangte die Landesregierung die Bestätigung, dass die Produktkontrolle bei einer **Wiederaufarbeitung** im Ausland den Anforderungen des Planfeststellungsverfahrens genügt, dass nur Abfälle aus dem deutschen **Brennstoffkreislauf** endgelagert werden dürfen, und dass ein finanzieller Ausgleich für die geplanten Endlager in Gorleben und Konrad geschaffen wird.

Die Novellierung der Strahlenschutzverordnung 1989 erforderte eine weitere Überarbeitung des Plans, die Version 4/90 und damit die bisher letzte Version wurde erstellt. Im Mai 1990 verlor die CDU die Wahl in Niedersachsen. Kurz vor der Amtsübergabe teilte das Niedersächsische Umweltministerium dem inzwischen zuständigen Bundesamt für Strahlenschutz

(BfS) mit, der Plan sei auslegungsreif und die Öffentlichkeitsbeteiligung könne beginnen.

Die neue SPD-geführte Landesregierung sah ungelöste Sicherheitsprobleme am Standort Konrad und die Notwendigkeit weiterer Prüfungen. Rechtsauffassung des Landes war, auch die Bestimmungen des im August 1990 in Kraft getretenen Gesetzes über die



Unterlagen zum Endlager Schacht Konrad

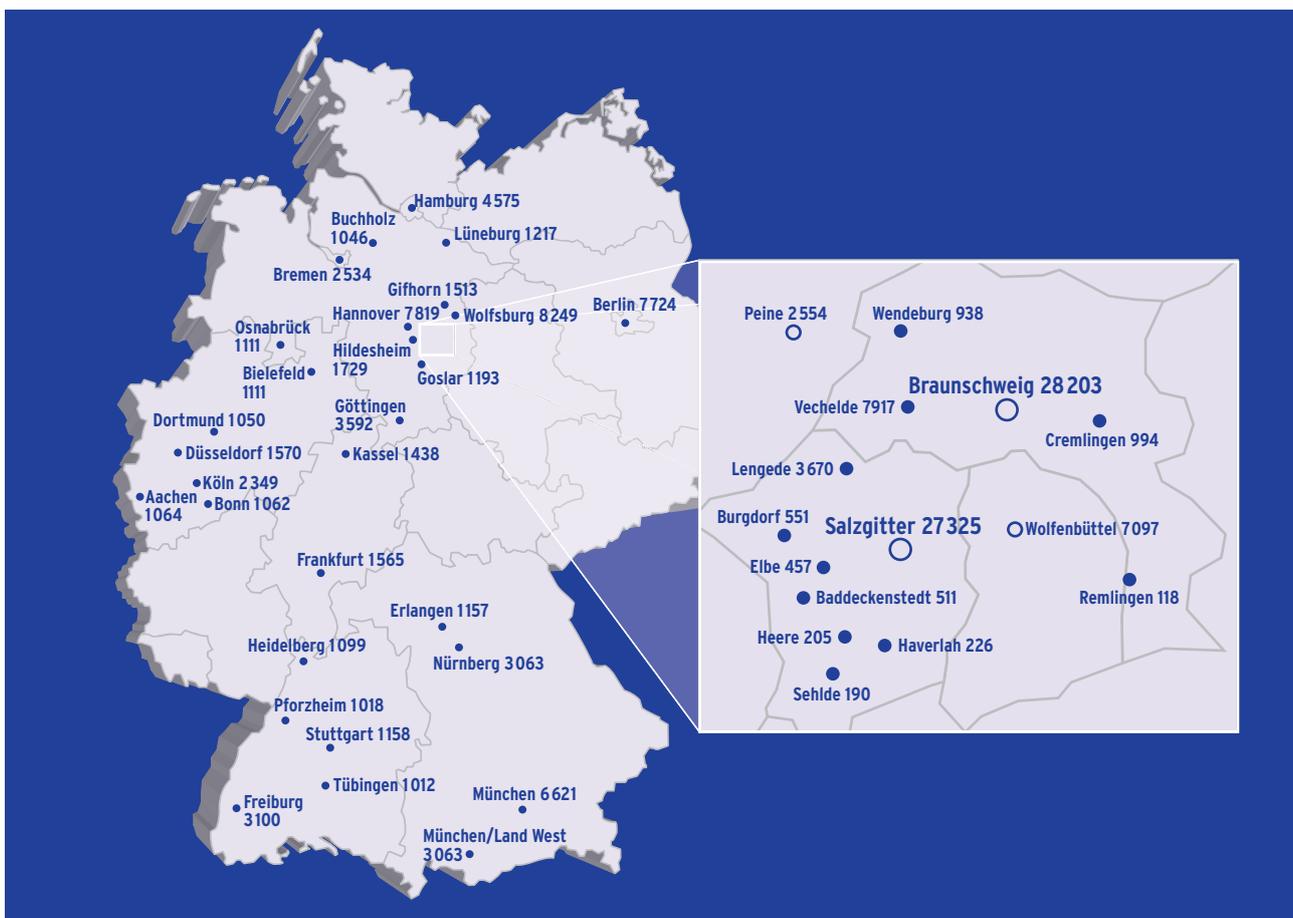
Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) seien anzuwenden, da das Vorhaben noch nicht öffentlich bekannt gemacht worden war. Während das BfS die Auffassung vertrat, dass die UVP bereits Bestandteil der Untersuchungen war und dies Ende 1990 nochmals in einer Zusammenfassung darstellte, sah das Land Niedersachsen weiterhin Nachbesserungsbedarf. Daraufhin erging am 24. Januar 1991 eine **Bundesweisung** an das Land, das **Planfeststellungsverfahren** fortzuführen und das Vorhaben öffentlich bekannt zu machen. Die Weisung wurde notwendig, da der Bund sich in der Erfüllung seines gesetzlichen Auftrags zur Einrichtung von Anlagen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle behindert sah. Die damalige Bundesregierung ging auf Grund von Äußerungen des Niedersächsischen Ministerpräsidenten Schröder und von Aussagen in der Koalitionsvereinbarung davon aus, dass das Land Niedersachsen eine politische Gesamtstrategie verfolgt, über eine Blockade der Errichtung von Endlagern den Ausstieg aus der Nutzung der Kernenergie zu erzwingen.

Das Projekt Konrad wurde durch eine intensive Öffentlichkeitsarbeit begleitet. Im Mai 1983 wurde in Salzgitter eigens dazu eine „Informationsstelle zur Nuklearen Entsorgung“ eröffnet. Mit der Gründung

des Bundesamtes für Strahlenschutz übernahm der Bereich Presse- und Öffentlichkeitsarbeit des Amtes diese Aufgabe mit.

Nach der Bundesweisung vom 24. Januar 1991 erschien die Bekanntmachung am 08. Mai 1991. Die Antragsunterlagen wurden zwei Monate lang, vom 16. Mai bis zum 15. Juli 1991, öffentlich zur Einsichtnahme ausgelegt. Bei der Genehmigungsbehörde gingen 289.388 Einwendungen ein, die nach Prüfung durch das BfS in 950 sachlich begründete Argumente zusammengefasst werden konnten. Im April 1992 wies der Bund das Land an, spätestens ab 28. September 1992 die Erörterung durchzuführen. Der Erörterungstermin wurde am 25. September 1992 in Salzgitter-Lebenstedt begonnen und endete am 06. März 1993 nach insgesamt 75 Verhandlungstagen.

Zum Erörterungstermin ergingen drei weitere Bundesweisungen. Das Land wurde darin verpflichtet, bei eventuell anstehenden Entscheidungen der Planfeststellungsbehörde zur Vertagung oder Aufhebung des Erörterungstermins den Bund einzubeziehen und in einem konkreten Fall dem Antrag auf Aufhebung nicht stattzugeben. Nur so konnte die



Die insgesamt 289.388 Einwendungen kamen aus dem gesamten Bundesgebiet.

bundesaufsichtliche Verantwortung wahrgenommen und gewährleistet werden, dass die Entscheidungen der Genehmigungsbehörde nicht zu einer unbegründeten Verlegung, Vertagung oder Aufhebung des Erörterungstermins oder zu Verfahrensfehlern führten.

Am ersten Tag der Erörterung kamen rund 400 Einwender. Deren Zahl ging dann auf 300 zurück und pegelte sich auf 20 bis 30 ein. Anfangs stand eine eigens errichtete Leichtbauhalle mit 3.500 Plätzen in Salzgitter-Lebenstedt zur Verfügung, nach Jahreswende fanden die Erörterungen in einer Tennishalle in Vechelde-Wedtlenstedt statt. Haupteinwender waren die betroffenen Kommunen Salzgitter, Braunschweig, Wolfenbüttel, Vechelde und Lengede. Einige Einzeleinwender waren bevollmächtigt, für Verbände aufzutreten, so für den Naturschutzbund Deutschland, den BUND, Greenpeace, das Landvolk, den Bund Bürgerinitiativen Umweltschutz (BBU), den Landesverband Bürgerinitiativen Umweltschutz (LBU), Gewerkschaften und einzelne Bürgerinitiativen. Die ARGE Schacht Konrad e.V., eine Arbeitsgemeinschaft aus Verbänden, Initiativen und Einzelpersonen, fungierte darüber hinaus als Sammelbecken vieler Einzeleinwender und einzelner Verbände. Im Oktober 1992 beteiligten sich 4.000 Menschen an einer Demonstration gegen die Nutzung des Schachts Konrad als Endlager für radioaktive Abfälle.

Viele Auseinandersetzungen gab es über die Frage, ob Transporte erörtert werden müssen oder nicht. Unbeschadet der Rechtsposition des BfS, dass Transporte außerhalb der geplanten Anlage einem besonderen Genehmigungsvorbehalt unterliegen und deshalb nicht zu den Genehmigungsvoraussetzungen des [Planfeststellungsverfahrens](#) gehören, wurde auf Veranlassung des damaligen Bundesumweltministers Klaus Töpfer (CDU) den Einwendern die Möglichkeit gegeben, ihre Bedenken zu den Transportrisiken vorzutragen. Er hatte zugestimmt, dass die Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) zu der im Auftrag des Bundesumweltministeriums (BMU) erstellten Transportstudie den Einwendern Rede und Antwort stand.

Im Jahr 1994 wurde seitens des BfS der Sofortvollzug des Planfeststellungsbeschlusses beantragt und ausführlich begründet. Im gleichen Jahr übergab das BMU einen mit Unterstützung der GRS erarbeiteten Entwurf eines Planfeststellungsbeschlusses. Das Land lehnte die Verwendung dieses Entwurfs ab. Die Genehmigungsbehörde begann 1995 mit der Erstellung eines eigenen Planfeststellungsbeschlusses, dazu legte das BfS 1997 abschließende Genehmigungsunterlagen vor.



Einwender beim Erörterungstermin zu Schacht Konrad

1996 erging eine [Bundesweisung](#), da der Bund weder aus rechtlicher Sicht noch aus Zweckmäßigkeitgründen eine Nachbegutachtung für erforderlich hielt. Die Planfeststellungsbehörde war zu dem Schluss gekommen, dass die Befangenheit eines Gutachters vorlag. Ein Jahr später bestätigte der Bund die Planrechtfertigung in Form einer weiteren Weisung, da dieses sich aus dem fachgesetzlichen Auftrag und der Tatsache ergebe, dass das Vorhaben wegen der vorhandenen und zukünftig zu erwartenden Abfälle vernünftigerweise geboten sei. Darin wurde der Auffassung der Planfeststellungsbehörde widersprochen, es bestehe keine Planrechtfertigung, da unter anderem die für das Lager Konrad vorgesehenen Abfälle eine Teilmenge der für das geplante Endlager für alle Arten radioaktiver Abfälle in Gorleben vorgesehenen Abfälle seien. Der Bund stellte klar, dass er nicht das Konzept verfolgt, nur ein Endlager für alle Arten und Mengen radioaktiver Abfälle einzurichten. Bei den im Rahmen der energiepolitischen Konsensgespräche 1995 getroffenen Aussagen handele es sich um politische Überlegungen, die keine Konzeptreife erlangt hätten.

Seitens der Genehmigungsbehörde war 1998 ein nahezu vollständiger Entwurf eines Planfeststellungsbeschlusses fertiggestellt. Die Kontaminationen an CASTOR-Behältern und Transportgeräten veranlassten das Land Niedersachsen jedoch, das Verfahren zu stoppen und eine Überprüfung der Genehmigungsunterlagen durch das BfS durchführen zu lassen. Ziel war die Prüfung, ob solche Kontaminationen auch beim Abfalltransport nach Konrad auftreten können.

Im „Atomkonsens“ wurde festgelegt, dass das Planfeststellungsverfahren nach den gesetzlichen Bestimmungen abgeschlossen und der Antrag auf Sofortvollzug zurückgenommen wird, um vor Umrüstungsbeginn eine gerichtliche Überprüfung im Hauptsacheverfahren zu ermöglichen. Nach Rücknahme des Antrags auf Sofortvollzug noch im Jahr 2000 wurde

der Planfeststellungsbeschluss durch das Land Niedersachsen im Juni 2002 erteilt.

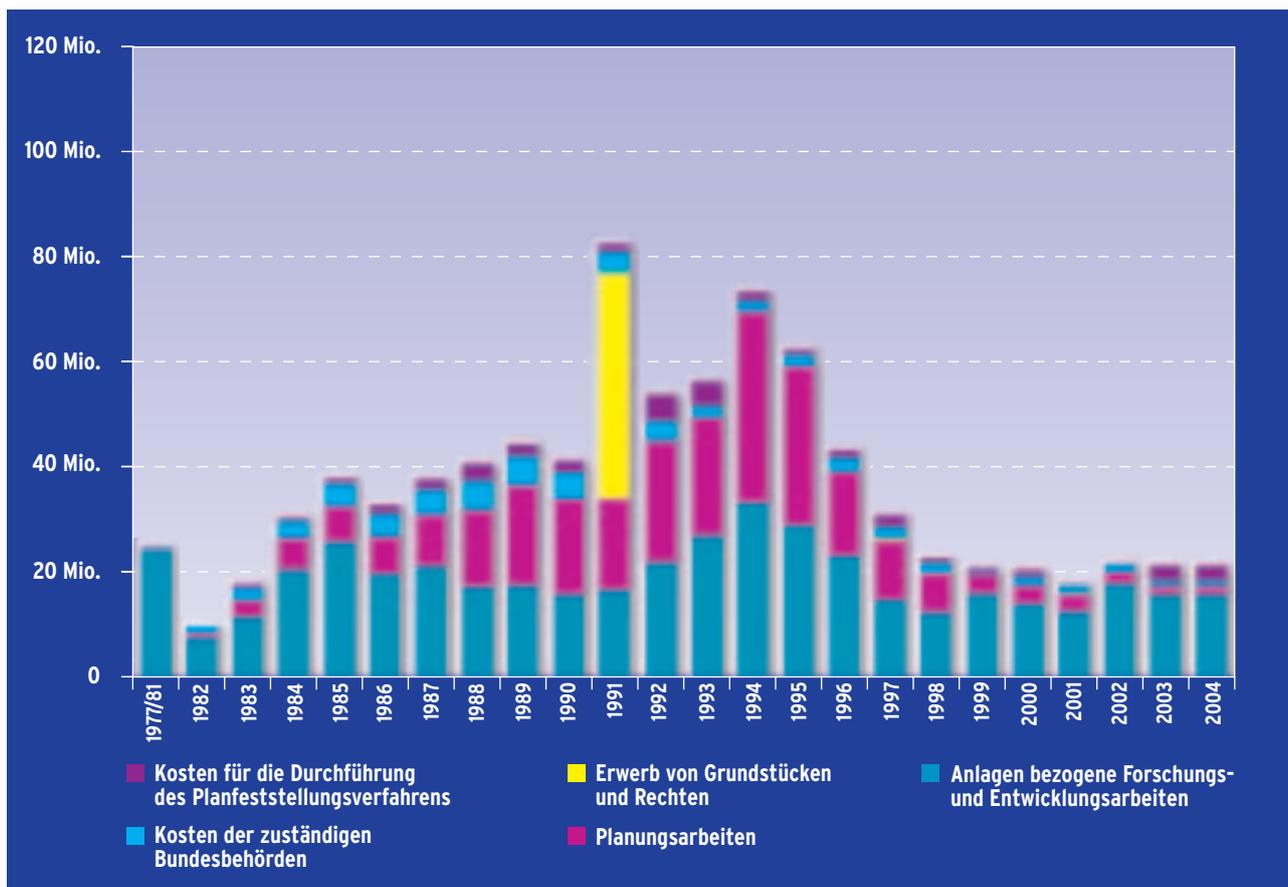
Das einlagerbare Gebindevolumen von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung wird im Planfeststellungsbeschluss auf etwa 300.000 m³ begrenzt. Neuere Prognosen des BFS zum Abfallaufkommen in der Bundesrepublik waren zu einer erheblichen Mengenreduzierung gegenüber dem ursprünglich erwarteten Abfallaufkommen von circa 650.000 m³ gekommen. Die Gesamtaktivität der radioaktiven Abfälle ist auf $5 \cdot 10^{18}$ Bq beschränkt.

Gegen die Genehmigung wurden acht Klagen eingereicht. Sie kamen von zwei Einzelpersonen, den Städten Salzgitter und Wolfenbüttel, dem Landkreis Wolfenbüttel, den Gemeinden Lengede und Vechelde sowie von einigen Pfarren der Evangelisch-lutherischen Landeskirche Braunschweig. Anhängig waren Ende 2004 noch vier Klagen, vier wurden bis dahin zurückgezogen. Vor rechtskräftigen Urteilen oder vor der Anordnung des Sofortvollzuges durch die Genehmigungsbehörde kann das Endlager nicht eingerichtet werden, so dass auch wegen der notwendigen Umrüstungszeit selbst bei Bestätigung des Planfeststellungsbeschlusses voraussichtlich in den nächsten

Jahren keine Einlagerung radioaktiver Abfälle möglich ist.

Seitens des Bundes wurde ein finanzieller Lastenausgleich gewährt: In den 90er Jahren wurden dem Land Niedersachsen für die beiden niedersächsischen Standorte 90 Millionen DM (46 Mio. €) zur Verfügung gestellt. Nach Zeitungsberichten hatte die Stadt Salzgitter 36 Millionen DM (18,4 Mio. €) davon erhalten. Zahlungen zur Abdeckung des Verwaltungsaufwandes im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens erfolgten nach der Kostenverordnung zum Atomgesetz gesondert.

In den Jahren 1977 bis 2004 wurden für das Projekt Konrad insgesamt etwa 864 Millionen € verausgabt. Dabei sind die Beträge für 2004 lediglich Abschlagszahlungen. Die Verteilung auf die verschiedenen Jahre und die unterschiedlichen Kostenarten zeigt die nachfolgende Grafik. Allein die Offenhaltung der Grube schlägt mit rund 20 Millionen € pro Jahr zu Buche. Diese Kosten werden von den Abfallverursachern anteilig getragen.



Kosten des Projektes Konrad in Euro

Standortsuche des Bundes für das „Nukleare Entsorgungszentrum“

Da man beim Betrieb der Leistungsreaktoren nicht nur die **bestrahlten Brennelemente** und die Abfälle entsorgen, sondern auch aus den bestrahlten Brennelementen Brennstoff zurückgewinnen und mittels eines **Schnellen Brüters** vermehren wollte (siehe auch **Brennstoffkreislauf**), arbeitete man in Deutschland an der Konzeption einer Wiederaufarbeitungsanlage. Neben einem europäischen Projekt (EUROCHEMIC) wurde am Kernforschungszentrum Karlsruhe eine Versuchsanlage mit einer Kapazität von 40 t Brennstoff pro Jahr gebaut. Diese ging 1971 in Betrieb. 1974 wurde seitens der Bundesregierung das Konzept des „Integrierten Nuklearen Entsorgungszentrums“ vorgestellt. Dieses Zentrum sollte an einem Ort die **Wiederaufarbeitung** bestrahlter Brennelemente, Brennelementefabriken, Einrichtungen zur Behandlung aller Arten radioaktiver Abfälle und die Endlagerung aller Arten von radioaktiven Abfällen vereinen. Geplant war die zentrale Entsorgung von 40 bis 50 Atomkraftwerken, die Anlage sollte für eine Jahreskapazität von 1.400 Tonnen ausgelegt werden. Der damalige niedersächsische Ministerpräsident Alfred Kubel (SPD) gab der Bundesregierung im Winter 1974/1975 die Zusage, ein nukleares Entsorgungszentrum könne in Niedersachsen realisiert werden.

In einem ersten Durchgang wurden bundesweit in dünn besiedelten Regionen, die nicht als Naturschutz- oder Erholungsräume ausgewiesen waren und die keine bedeutende Milchproduktion aufwiesen, Gelände mit einem völlig siedlungsfreien Raum von circa 6 km Durchmesser gesucht. Von den so gefundenen 26 Standortmöglichkeiten wurden die vier besten nach einem Kriterienraster ermittelt (Börger/Wahn, Ahlden, Faßberg, Lüttau). Davon schied Lüttau wegen der Lage an der Grenze zur DDR aus. 1975 begannen die Untersuchungen am Standort Wahn mit Flachbohrungen.

Die Standorte Ahlden und Faßberg wurden durch Lutterloh und Lichtenhorst ersetzt. Am Standort Faßberg wurden größere Erdgasvorkommen gefunden, weiterhin stellte sich der benachbarte Salzstock Dethlingen nach bekannt gewordenen Ergebnissen einer Tiefbohrung als ungeeignet heraus (Zechsteinsalz in Wechsellagerung mit Anhydrit, dessen Anteil mit der Tiefe zunahm). Dafür neu aufgenommen wurde der Standort Lutterloh. Dieser wurde vorerst wegen seiner Lage im Naturpark Südheide nicht in Betracht gezogen, durch Waldbrände im August 1975 wurden diese Teile des Naturparks aber zerstört. Vom benachbarten Salzstock Weesen-Lutterloh lagen keine Informationen vor, die ein Endlager von vornherein behindern würden. Der Standort Ahlden wurde

einige Kilometer nach Westen auf den Salzstock Lichtenhorst verlegt. Bei dem ursprünglich in Betracht gezogenen Salzstock Eilte wurde in größerem Umfang Erdöl gefördert, außerdem wies er einen zur Anlage von Kavernen ungünstigen Querschnitt auf.

Die geplante Tiefbohrung am Standort Wahn wurde durch einen Rechtsstreit blockiert, am Standort Lichtenhorst verhinderten Demonstranten die Vorbereitungsarbeiten zur Tiefbohrung. Die Bohrarbeiten am Standort Lutterloh wurde nach 35 Bohrtagen im Juli 1976 aus geologischen Gründen abgebrochen. Es wurden intensiv verfaltete Schichten des Zechsteins erbohrt.

Anfang 1976 begann an allen drei Standorten die Information der Öffentlichkeit. Um das Informationsprogramm nicht zu stören, wurden die Erkundungsarbeiten von Mitte Februar bis Mitte März unterbrochen.

Aufgrund der Diskussion in der Öffentlichkeit ergab sich die Notwendigkeit, die Konzeption des Untersuchungsprogramms abzuändern. Es wurde die Forderung aufgestellt, alle drei Standorte gleichzeitig und



Standortsuche: Unterlagen für ein „nukleares Entsorgungszentrum“

gleichrangig zu untersuchen. Das geänderte Programm kam nicht mehr zum Zuge: Nachdem es an allen drei Standorten zu Protesten gegen die Erkundung kam, wurden die Arbeiten im August 1976 auf Grund politischer Bedenken der neuen Landesregierung (CDU geführt) eingestellt. Dass Gorleben nicht unter den drei Standorten zu finden war, wurde z. B. auf einer Informationsveranstaltung des Bundes in Lüchow im Jahr 1981 aus verschiedenen Blickwinkeln wie folgt dargestellt:

„... Der Standort Gorleben hatte bei der Auswahl durch den Bund allen geologischen Bedingungen genügt. Er wurde ausschließlich wegen seiner Lage unmittelbar an der Grenze zur DDR nicht in die engste Wahl gezogen...“ A. Ziegler (BMFT): „Eröffnung und Begrüßung“ in „Entsorgung – Bericht von einer Informationsveranstaltung im Rahmen des Energiedialogs am 15./16. Mai 1981 in Lüchow“

„... Da seit der Standortermittlung im Jahr 1974 einige Auswahlkriterien hinsichtlich ihrer Bedeutung inzwischen anders bewertet werden, wurde nachgeprüft, ob sich neben Wahn, Lichtenhorst und Lutterloh neue Standortalternativen finden lassen. Diese Untersuchung wurde durchgeführt mit dem Ergebnis, daß die ursprünglich ausgewählten Standorte nach wie vor als sehr günstig anzusehen sind und daß sie lediglich vom Standort Gorleben übertroffen

werden. Dieser Standort war bei der Untersuchung im Jahr 1974 ausgeschieden, weil er nach den damals zugänglichen Planungsunterlagen in einer Erholungs- bzw. Feriengzone lag...“ Dr. Jaritz (BGR): „Vorkenntnisse über den Salzstock Gorleben und Gründe für die Annahme als Untersuchungsobjekt“, in „Entsorgung – Bericht von einer Informationsveranstaltung im Rahmen des Energiedialogs am 15./16. Mai 1981 in Lüchow“

Standortsuche des Landes Niedersachsen – die Entscheidung für Gorleben

Parallel zur Erkundung an den drei Standorten seitens des Bundes wurde im Mai/Juni 1976 von der Landesregierung Niedersachsen eine interministerielle Projektgruppe zur Standortsuche für ein nukleares Entsorgungszentrum eingesetzt. Von 140 untersuchten Salzstöcken wurden zunächst die Standorte Wahn, Lichtenhorst, Gorleben und Mariagluck ausgewählt, in der letzten Phase blieb als alleiniger Standort Gorleben übrig. Zu den dabei angewendeten Auswahlkriterien gibt es Darstellungen aus unterschiedlichen Blickrichtungen (siehe Infokasten).

Im Februar 1977 entschied das niedersächsische Kabinett, dass Anträge zur Errichtung eines Entsorgungszentrums am Standort Gorleben geprüft werden. Es müsse aber zunächst abgesichert werden, ob

Auf einer Informationsveranstaltung im Rahmen des Energiedialogs in Lüchow hat 1981 der Vertreter der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) dazu ausgeführt:

„... Die niedersächsische Landesregierung hat bei der Auswahl des Salzstockes Gorleben folgende Kriterien zugrundegelegt: (Ich zitiere nach Bundestagsdrucksache 8/3082)

- 1. „Der Salzstock sollte durch frühere Bohrungen oder bergmännische Aktivitäten möglichst unberührt sein, um unkontrollierte Eingriffe in das System Salzstock zu vermeiden.“
Diese Bedingung ist dadurch erfüllt, daß nur eine der alten Bohrungen (Nordenhall 2 a) tief in den Salzstock eingedrungen ist, und diese liegt mehrere Kilometer von den möglichen Schachtstandorten entfernt.*
- 2. „Der Salzstock sollte eine für die Aufnahme radioaktiver Abfälle ausreichende Größe besitzen, die außerdem das Vorkommen mächtiger, reiner Steinsalzpartien wahrscheinlich erscheinen läßt. Große Partien reinen Steinsalzes werden als Voraussetzung für die Einlagerung wärmeentwickelnder Abfälle angesehen.“*
- 3. „Die Salzstockoberfläche sollte nicht mehr als 400 m unter Gelände liegen und nicht zu hoch in die oberflächennahen Grundwasserhorizonte reichen.“
Diese Bedingung ist einem Geologen nicht sofort verständlich. Da etwas tiefer gelegene Salzstöcke häufig eine Tonsteinüberdeckung haben, hätte man es in solchen Fällen mit durchaus interessanten geologischen Mehrbarriere-Systemen zu tun. Dem stehen jedoch mit der Teufe stark zunehmende Probleme beim Schachtabteufen mit dem Gefrierverfahren entgegen. Sie verkehren die Vorteile der größeren Teufe unter Umständen in Nachteile.*

4. „Die engere Standortregion sollte keine nutzbaren Lagerstätten (einschließlich Grundwasserreserven) enthalten“

Die Bundesregierung dachte bei der Standortsuche sowohl an eine große Wiederaufarbeitungsanlage als auch an ein Endlagerbergwerk. Für die Standortbewertung waren, was den Salzstock angeht, etwa die gleichen Bedingungen gestellt worden wie bei der Auswahl durch das Land...

Im Protokoll des Umweltausschusses des Niedersächsischen Landtages findet sich folgende Darstellung:

„...Die Projektgruppe hat in vier Phasen untersucht.

In der ersten Phase hat sich die Gruppe auf zwei Überlegungen beschränkt. Die erste Überlegung war, daß zum Konzept der Entsorgungsanlage ein Salzstock vorhanden sein müsse. Die zweite Überlegung war, ob im Bereich eines Salzstockes 3 mal 4 km großes Gelände verfügbar gemacht werden könne. Von den 140 Salzstöcken wurden so 23 ausgewählt.

In der 2. Phase wurden die 23 Standorte unter 5 Ausschlußkriterien untersucht: Lage des 3 mal 4 km großen Geländes, Tiefenlage des Salzstockes (nicht tiefer als 800 m Bodenoberfläche), Größe des Salzstockes (je größer desto besser), Besiedlung auf dem 3 mal 4 km Gelände, das Bestehen konkurrierender Nutzungsansprüche am Gelände. Es blieben 13 Standorte übrig.

In der 3. Phase wurden 13 Standorte anhand schon etwas konkreterer Ziele und Kriterien untersucht. Basis waren die „Ziele und Kriterien für die Standortvorauswahl bei Energieanlagen“ – eine Empfehlung der Innenministerkonferenz für Raumordnung – und die „Bewertungsrichtlinien des BMU für KKW-Standorte und Kernenergieanlagen“.

Folgende Kriteriengruppen:

- Sicherheit und Umwelt
- Reaktorsicherheit und Strahlenschutz
- Besiedlungsdichte im Bereich des Salzstockes und im Bereich des 3 mal 4 km Betriebsgeländes, die sektorale Besiedlungsdichte, die Beschaffenheit des Baugrundes, die Erdbebengefährdung, die Flugverkehrsdichte, der Aspekt des Lagerns und des Transportes von explosiven Stoffen, die Hochwassergefährdung, die meteorologischen Gegebenheiten und letztlich die radiologische Vorbelastung.

Endlagergeologie

Entscheidende Kriteriengruppe: Lage des Betriebsgeländes über dem Salzstock (je höher das Gelände in der Toplage des Salzstockes liegt, desto besser) und die Tiefenlage des Salzstockes (möglichst nicht tiefer als 500 m).

Sicherung der öffentlichen Trinkwasserversorgung:

prohibitiv, wenn im Bereich des Salzstockes bzw. des potentiellen Betriebsgeländes oder im Grundwasserabstrom des Standortes Wasserwerke oder Grundwasservorranggebiete bestehen oder geplant sind.

Landschaftspflege und Erholung

prohibitiv, wenn im Bereich des Salzstockes Landschaftsschutzgebiete, Naturschutzgebiete, Naturparks, Naturdenkmäler, Erholungsgebiete, Fremdenverkehrsorte

Wirtschaftliche Aspekte

Regionale und überregionale Anbindung des potentiellen Standorts (Bundesbahn, Autobahn, Wasserstraßen)

Oberflächennutzung

Besiedlung und Eigentumsverhältnisse im unmittelbaren Bereich des Standortes

mögliche Wasserversorgung eines gedachten NEZ:

Entnahme von Grundwasser und Oberflächenwasser und der Verbleib von Salzsole aus den auszusohlen- den Kavernen im Salzstock

Von den 13 Standorten bleiben nach der Phase 3 vier übrig: Wahn, Lichtenhorst, Gorleben und Mariagluck.

Diese 4 Standorte sind in der Phase 4 noch einmal einer zusätzlichen intensiven Diskussion innerhalb der Projektgruppe untersucht worden. Dabei wiesen drei der möglichen Standorte jeweils mindestens ein Kriterium auf, das sie als möglichen Standort ausschloß. So kam als Vorschlag für die Landesregierung nur Gorleben in Betracht, das als optimaler Standort angesehen wurde. Bei dem dortigen Salzstock handelt es sich um einen der größten in Niedersachsen. Er ist etwa 40 qkm groß. Das Salz beginnt in einer Tiefe von 300 m und reicht bis 3.500 m. Der Salzstock ist im Standortbereich unverletzt. Das waren die Kriterien, die eigentlich den entscheidenden Ausschlag dafür gegeben haben, der Landesregierung diesen Standort vorzuschlagen.

Die prohibitiven Kriterien für die drei anderen Standorte waren: Wahn liegt in der Nähe, zum Teil sogar im Bereich eines Schießplatzes der Bundeswehr. Lichtenhorst liegt in einem Gebiet, das für die Trinkwasserversorgung der Landeshauptstadt Hannover von entscheidender Bedeutung ist. In Mariagluck gibt es nur einen relativ kleinen Salzstock, der für ein Projekt wie ein Entsorgungszentrum nicht geeignet ist. ...“

ein integriertes Entsorgungszentrum sicherheitstechnisch gesehen grundsätzlich realisierbar sei. Die Sicherheit der Bevölkerung müsse vor allen anderen Überlegungen Vorrang haben. Der Umweltausschuss des Landtages wurde erst im Oktober 1977 über das Auswahlverfahren unterrichtet.

Der Samtgemeinderat Gartow sprach sich vorerst gegen den Standort Gorleben aus, da damit die große Anstrengung der vorhergehenden zwei Jahrzehnte zur Entwicklung des Fremdenverkehrs in der Region zunichte gemacht werde.

Auf Grund der Grenznähe des von Niedersachsen benannten Standortes befürchtete die Bundesregierung politische Verwicklungen. Nachdem die DDR aber nur zaghaft gegen das Projekt protestiert hatte, akzeptierte der Bund die Standortentscheidung. Noch im Juli 1977 wurde der Antrag zur Einleitung eines **Planfeststellungsverfahrens** zur Endlagerung sowohl leicht- und mittelaktiver als auch hochaktiver radioaktiver Abfälle im Salzstock Gorleben gestellt. Dieser Antrag war sachlich geboten, da die Planfeststellungsbehörde und die Gutachter von Anfang an eingebunden werden mussten. Alle Maßnahmen im Zuge der Erkundung wurden nach den Vorschriften des Berg- und Tiefspeicherrechts genehmigt, da Regelungen des Planfeststellungsverfahrens nach § 9 b Atomgesetz erst greifen, wenn entschieden ist, dass am Standort ein Endlager errichtet wird.

Organisiert von der Bürgerinitiative (BI) Umweltschutz Lüchow-Dannenberg kam es zu Demonstrationen gegen das Projekt. Es gelang, weit über den lokalen Widerstand hinaus Menschen zu mobilisieren. So fand im März 1979 in Hannover eine Demonstration mit rund 100.000 Teilnehmern statt.

Die Landesregierung setzte – wohl mit dem Blick auf die Landtagswahlen – eine internationale Expertenkommission ein; der von ihr erarbeitete „Gorleben-Report“ wurde auf dem Gorlebenhearing „Rede-Gegenrede“ im März/April 1979 vorgestellt und diskutiert.

Trennung von Wiederaufarbeitungsanlage und Endlager

Nach dem Gorlebenhearing 1979, das durch den Reaktorunfall in Harrisburg überschattet wurde, empfahl der damalige Niedersächsische Ministerpräsident Ernst Albrecht (CDU) in einer Regierungserklärung, das Projekt **Wiederaufarbeitung** vorerst nicht weiter zu verfolgen:

„... Die Niedersächsische Landesregierung kann und will der Bundesregierung keine energiepolitische Entscheidung aufzwingen. Es ist jedoch ihre Pflicht, die Bundesregierung darauf hinzuweisen, dass die politischen Voraussetzungen für die Errichtung einer Wiederaufarbeitungsanlage zur Zeit nicht gegeben sind...“

Eine Unerlässlichkeit der Wiederaufarbeitung wurde nicht gesehen, da der eigentliche Vorteil der Wiederaufarbeitung erst im Verbund mit dem Schnellen Brüter eintrete. Der Salzstock Gorleben sollte jedoch weiterhin auf seine Eignung als Endlagerstätte untersucht werden.

Auch der Kreistag Lüchow-Dannenberg schloss sich der Zustimmung zur Erkundung des Salzstocks Gorleben an, so dass von allen politischen Ebenen – vom Bund über das Land und den Kreis bis hin zur anfänglich ablehnenden Samtgemeinde – positive Voten zur Untersuchung vorlagen. Erst der Regie-

rungswechsel auf Landesebene 1990 (rot-grüne Koalition) und eine neue Mehrheit auf Kreisebene Anfang 1992 brachten hier Veränderungen.

Die übertägige Standorterkundung wurde unter erheblichem Protest der Bevölkerung durchgeführt. So kam es beispielsweise im Mai 1980 zur Besetzung des Bohrplatzes für die Bohrung Nr. 1004 und zur Ausrufung der „Republik Freies Wendland“. Der Bohrplatz wurde nach einmonatiger Besetzung am 3. Juni durch Einsatz von Polizeikräften geräumt.

Ab 1979 wurde seitens des Bundes und des Landes intensive Öffentlichkeitsarbeit im Landkreis betrieben. Unter dem Oberbegriff „Bürgerdialog Kernenergie“ nahm eine gemeinsame Informationsstelle Bund/Land in der Kreisstadt Lüchow ihre Tätigkeit auf. Zu Beginn bestand die Hauptaufgabe darin, den Kenntnisstand der interessierten Bevölkerung so zu erweitern, dass eine allseitige Diskussion der von Bund, Land und Industrie angestrebten Vorhaben möglich wurde. Der Bund verlagerte seine Aktivitäten 1985 mit der Einrichtung einer Dauerausstellung im ehemaligen Rathaus in die Samtgemeinde Gartow. Der Standort Lüchow wurde 1987 endgültig aufgegeben, als das Land Niedersachsen sich aus der gemeinsamen Informationsarbeit zurückzog.

Studien zur Suche nach Endlagerstandorten auch außerhalb Niedersachsens

Bereits 1977 erstellte die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) im Auftrag der Kommission der Europäischen Gemeinschaft einen Katalog von zur Endlagerung geeigneten Formationen in der Bundesrepublik. Neben Salzformationen wurden auch Tonsteine und Granite untersucht. Als am besten geeignet wurden Formationen des Steinsalzes der Staßfurt-Folge dargestellt, aber auch Granit- und Tonsteinformationen in der Bundesrepublik wurden als prinzipiell geeignet angesehen. Die Studie identifiziert keine konkreten Standorte.

In den Jahren 1982/1983 wurden ebenfalls von der BGR im Auftrag der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) nochmals Salzformationen in Hinblick auf die Endlagerung radioaktiver Abfälle untersucht. In einer ersten Studie wurden dazu die vorhandenen Daten zu Salzformationen außerhalb Niedersachsens gesichtet. Die Suche engte sich auf Grund der angewendeten Kriterien auf Schleswig-Holstein und Hessen ein. Während in Hessen keine Salzformation den zu Grunde gelegten Kriterien genügte, konnten unter 60 Salzformationen in Schleswig-Holstein sechs gefunden werden, die als untersuchungswürdig eingestuft wurden. Nur ein Standort erfüllte alle Vorgaben ohne Abstriche. In einer zweiten Studie wurden 211 Salzformationen in Niedersachsen betrachtet, daraus wurden in einem ersten Schritt 17 **Zechsteinformationen** und 6 **Münder-Mergel-Salinarenformationen** ausgewählt. In einem zweiten Schritt ergab sich eine Einengung auf neben Gorleben noch 5 weitere Standorte, davon ein Standort im Münder-Mergel-Salinaren.

Sicherheitskriterien für die Endlagerung und Entscheidung zur untertägigen Erkundung des Salzstocks Gorleben

Anfang 1983 veröffentlichte die Bundesregierung auf der Grundlage einer Empfehlung der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) die „Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk“. Darin werden u. a. folgende Punkte behandelt:

- Schutzziele,
- Standortanforderungen,
- übertägige und untertägige Standorterkundung,
- Errichtung und Betrieb eines Endlagers sowie
- Stilllegung und Nachbetriebsphase eines Endlagers.

Ziel der Endlagerung ist der sichere Abschluss der Abfälle gegen die Biosphäre. Als Folge von trotzdem nicht vollständig ausschließbaren Transportvorgän-



Informationsmaterial des Bundes zum Standort Gorleben

gen müssen die effektiven **Dosis**grenzwerte der Strahlenschutzverordnung auf Dauer eingehalten werden. Um dieses Ziel zu erreichen, wird ein Mehrbarrierenkonzept aus technischen Barrieren (Abfallform, Verpackung und Versatz) und natürlichen Barrieren (Endlagerformation, Deckgebirge/Nebengestein) gefordert. Durch einzelne oder die Summe der Barrieren ist der Abschluss zu gewährleisten. Die umfangreichen Kriterien lassen bewusst einen Ermessensspielraum zu, da die geologische Gesamtsituation nicht normierbar ist. Die erforderliche Sicherheit eines Endlagerbergwerks muss daher durch eine standortspezifische Sicherheitsanalyse nachgewiesen werden, die dem Gesamtsystem – bestehend aus geologischen Verhältnissen, Endlagerbergwerk und Abfallprodukte/-gebinden – Rechnung trägt.

Bei Anwendung dieser Kriterien tritt ein methodisches Problem auf: Die entscheidende Sicherheitsanalyse kann erst bei Vorliegen aller zu ihrer Aufstellung notwendigen Informationen durchgeführt werden. Eine Zwischenbewertung wird nicht explizit gefordert. Gleichwohl wurden die Ergebnisse der übertägigen Erkundung am Standort Gorleben einer zusammenfassenden Bewertung unterzogen mit dem Ziel festzustellen, ob der Bundesregierung der Beginn der untertägigen Erkundung empfohlen werden könne.

Nach Vorliegen der Studien zur Bewertung von Salzformationen in Deutschland, der „Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk“ und der Zwischenbewertung auf der Grundlage der übertägigen Erkundung am Standort Gorleben entschied die Bundesregierung am 13. Juli 1983, die untertägige Erkundung des Salzstocks Gorleben aufzunehmen.

Wegen des zu erwartenden Zeitbedarfs für das Abteufen der Schächte, den Schachtausbau und das Erkundungsprogramm wurde damals auf Basis eines Kosten-Vergleiches entschieden, von provisorischen Lösungen abzusehen. Es war aus damaliger Sicht wirtschaftlicher, feste Gebäude zu errichten, die weniger Energie benötigen, bessere Arbeitsbedingungen bieten und im Laufe der langen Erkundungs- und Genehmigungsphase nicht ersetzt werden müssen. Die Schächte wurden mit einem Durchmesser erstellt, wie es auch für ein Endlager geplant ist. Eine nachträgliche Erweiterung der Schächte ist bei dem anzuwendenden Gefrierverfahren technisch nicht vertretbar, vor allem deshalb nicht, weil die Dichtigkeit und Standsicherheit eines später erweiterten Schachtes nicht garantiert werden kann.

Der Brennstoffkreislauf und das Entsorgungskonzept

Ursprünglich wurde davon ausgegangen, dass das in Reaktoren durch Neutronenbestrahlung von nicht spaltbarem Uran-238 unvermeidbar entstehende Plutonium in **Schnellen Brütern** gezielt vermehrt wird. In einem Kreislauf zwischen Leichtwasserreaktoren und Schnellen Brütern auf der einen Seite und Wiederaufarbeitungsanlage auf der anderen Seite sollte so nach optimistischen Abschätzungen die Ausnutzung des eingesetzten Urans bis um den Faktor 60 höher sein als beim einmaligen Einsatz in Leichtwasserreaktoren. Damit wurde eine weitgehende Unabhängigkeit von der Zufuhr von neuem Uran angestrebt. Die in der Wiederaufarbeitungsanlage entstehenden Abfälle sollten konditioniert und endgelagert werden. Die Probleme bei der Brütertechnologie führten jedoch dazu, dass von dieser Konzeption in Deutschland Abstand genommen wurde.

Mit In-Kraft-Treten der 4. Novelle des Atomgesetzes 1976 wurden spezielle rechtliche Grundlagen für das Verwerten radioaktiver Reststoffe und die Beseitigung radioaktiver Abfälle geschaffen. In der Praxis führte dies zu folgender Rollenverteilung:

- die Industrie baut und betreibt Anlagen zur Verwertung von Reststoffen, zur Abfallbehandlung und Zwischenlagerung von radioaktiven Abfällen aus dem Bereich der Kernkraftwerke,



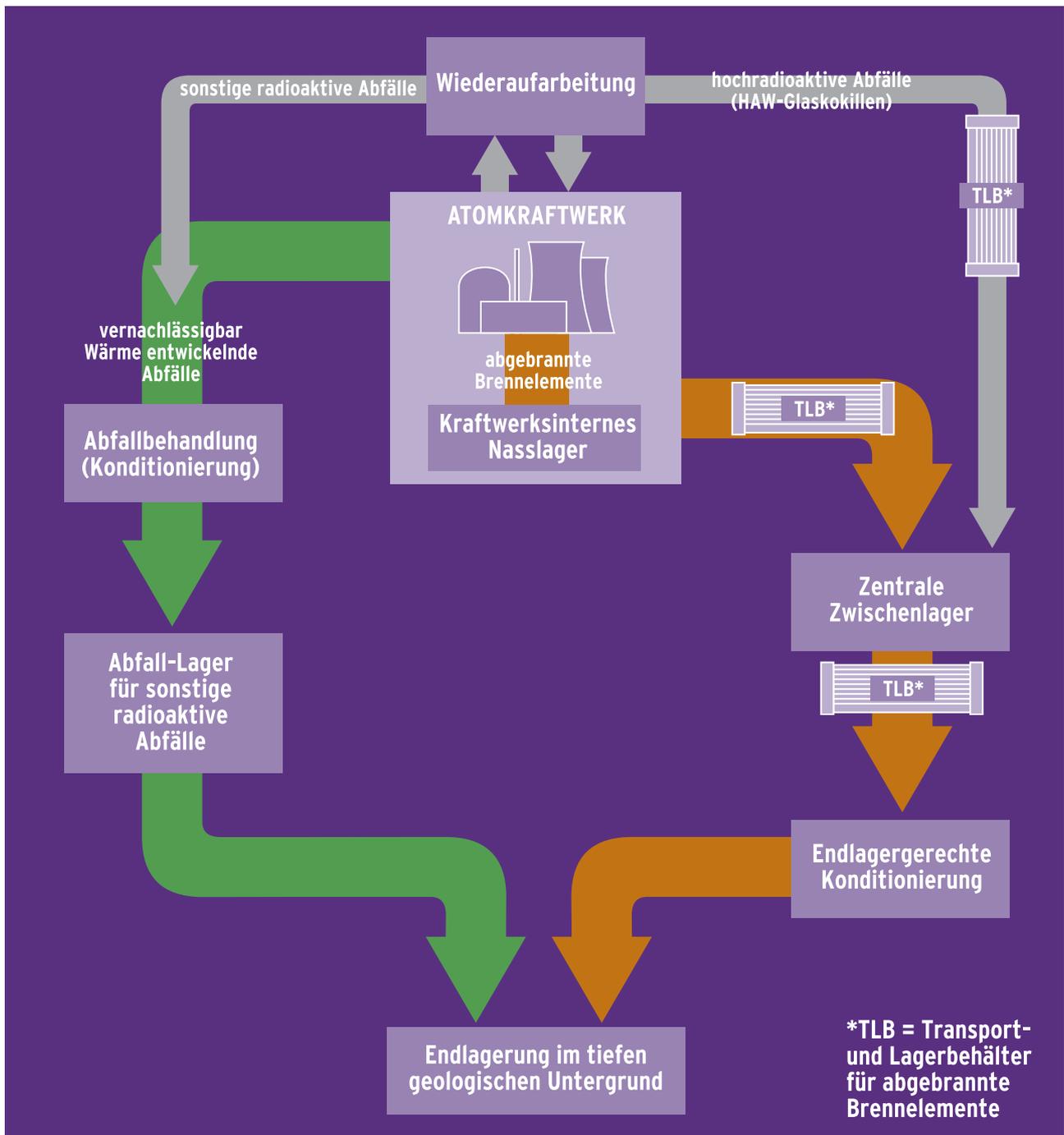
Das Atomgesetz regelt die Zuständigkeiten bei der nuklearen Entsorgung

- 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 von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) und ab seiner

Errichtung im Jahr 1989 vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) wahrgenommen.

Die Regierungschefs von Bund und Ländern konkretisierten mit dem Beschluss der „Grundsätze zur Entsorgungsvorsorge von Kernkraftwerken“ 1977 die Art des zu erbringenden Entsorgungsvorsorgenachweises. Die Kernkraftwerksbetreiber haben danach den Verbleib der **bestrahlten Brennelemente** für sechs



Entsorgungskonzept mit Wiederaufarbeitung, bis 1998 favorisiert, aber durch die Atomgesetz-Änderung vom 22. April 2002 mit dem Stichtag 30. Juni 2005 endgültig beendet. Die Lieferungen abgebrannter Brennelemente zur Wiederaufarbeitung, um die Kernbrennstoffe danach wieder im AKW einzusetzen, waren hier noch genauso vorgesehen wie die Anlieferung abgebrannter Brennelemente in die zentralen Zwischenlager Ahaus und Gorleben.

Jahre im Voraus nachzuweisen. Auf Grund der Verzögerung bei der [Wiederaufarbeitung](#) und Endlagerung sahen die Regierungschefs schon 1979 Anpassungsbedarf.

Das Entsorgungskonzept von 1979 – auch integriertes Entsorgungskonzept genannt – gab die Vorstellung eines nuklearen Entsorgungszentrums auf. Zur Sicherstellung der Entsorgung sah es die baldige Einrichtung von Zwischenlagern für bestrahlte Brennelemente vor. Die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle wurde weiterhin in Gorleben geplant, für die Wiederaufarbeitung sollten andere Standorte in der Bundesrepublik untersucht werden. Das abgetrennte Plutonium und Uran sollte in den Reaktoren wieder eingesetzt werden und so den Uraneinsatz um 10 bis maximal 20 % verringern. Die einmalige Wiederaufarbeitung bestrahlter Brennelemente vermindert den Uranverbrauch nur in geringem Maß, so dass hierdurch der ursprünglich geplante Kernbrennstoffkreislauf nicht realisiert wird. Die direkte Endlagerung bestrahlter Brennelemente wurde noch nicht als Entsorgungsweg eingestuft, sondern sollte lediglich auf ihre Realisierbarkeit hin untersucht werden.

Trotz weiterer Verzögerung beim Bau der Wiederaufarbeitungsanlage in Deutschland wurde das Entsorgungskonzept weitgehend beibehalten. Anfang 1988 war weiterhin Planungsgrundlage der Bundesregierung:

- die Inbetriebnahme der Wiederaufarbeitungsanlage Wackersdorf im Jahr 1996,
- die Einlagerung von radioaktiven Abfällen im Schacht Konrad ab Anfang der 90er Jahre sowie
- die Nutzung des Endlagers Gorleben ab dem Jahr 2000, bei Nichteignung des Gorlebener Salzstocks 10 Jahre später an einem anderen Standort.

Die Technik der direkten Endlagerung bestrahlter Brennelemente sollte lediglich als Ergänzung zur Entsorgung mit Wiederaufarbeitung weiter entwickelt werden und durfte nicht als Entsorgungsvorsorgenachweis herangezogen werden.

Nach massiven Protesten am Standort Wackersdorf, einer beträchtlichen Steigerung bei den kalkulierten Kosten und einem lukrativen Angebot der französischen Wiederaufarbeitungsanlage trafen die Kernkraftwerksbetreiber die Richtungsentscheidung, dass sie ein Entsorgungskonzept mit Zugriff auf die Wiederaufarbeitungsmöglichkeiten in den Staaten der Europäischen Gemeinschaft begrüßen würden. In Erwartung einer dementsprechenden Aussage der Bundesregierung wurde erklärt, dass ab 01. Juni 1989 auf die Ausübung des Sofortvollzugs der Teilerrichtungsgenehmigung verzichtet wird. Das bedeutete den Baustopp für die Wiederaufarbeitungsan-

lage Wackersdorf. Nach der Entscheidung des Bundeskabinetts am 06. Juni, die Wiederaufarbeitung im Ausland sei vereinbar mit dem nationalen Entsorgungskonzept, wurde das Projekt „Wiederaufarbeitung in Deutschland“ von der Energiewirtschaft endgültig fallengelassen. 1991 wurde auch der Bau des [Schnellen Brütters](#) in Kalkar abgebrochen.

Entgegen den früheren Vorstellungen ergibt der Einsatz der durch die Wiederaufarbeitung abgetrennten Kernbrennstoffe Plutonium und Uran in den üblichen Leichtwasserreaktoren weder wirtschaftlich noch ver-/entsorgungspolitisch einen Vorteil. Die in den 50er und 60er Jahren erwartete Verknappung und damit ein Preisanstieg von Natururan trat nicht in dem erwarteten Umfang ein. Konsequenterweise wurde durch die Atomgesetznovelle 1994 die direkte Endlagerung bestrahlter Brennelemente als Entsorgungsweg gleichberechtigt zur Wiederaufarbeitung anerkannt.

Damit konnten wesentliche Punkte des ursprünglich geplanten [Brennstoffkreislaufs](#) und des nuklearen Entsorgungskonzeptes der Bundesrepublik Deutschland nicht realisiert werden. Allein die Pläne zur Endlagerung im Schacht Konrad und in Gorleben wurden weiter verfolgt.

Weitere Suche potenzieller Standorte

In der Koalitionsvereinbarung zwischen CDU/CSU und FDP nach der Bundestagswahl 1990 wurde die Erkundung möglicher weiterer Standorte für stark wärmeentwickelnde Abfälle vorgesehen. Es sollten zu den bereits abgeschlossenen Forschungsarbeiten im Sedimentgestein (Konrad) und der noch laufenden Erkundung im Salz aus Gründen der Entsorgungsvorsorge für den Fall, dass sich Gorleben als ungeeignet für ein Endlager erweisen sollte, die vorhandenen Kenntnisse über Salzformationen ergänzt und auch andere Gesteinsformationen zur Vervollständigung des Kenntnisstandes über potenzielle Endlagerwirtsgesteine überprüft werden. Erstmals wurden dabei auch die neuen Bundesländer einbezogen. Nach diesen Vorgaben erstellte die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in der ersten Hälfte der 90er Jahre jeweils eine Studie zu Salzformationen und nichtsalinaren Formationen.

Auf der Grundlage von Literatur- und Archivdaten für das gesamte Bundesgebiet wurden aus 41 betrachteten Salzformationen vier als untersuchungswürdig ausgewiesen, zwei in Niedersachsen, jeweils eine in Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern: „... *Große Aufmerksamkeit wurde – in Abweichung von den zitierten Studien aus den 80er Jahren – der Barriere-Funktion des Deckgebirges gewidmet.*

Eine flächenhafte Überdeckung des Caprock einer Salzstruktur mit wasserhemmenden Unterkreidetonen und einer ungestörten Decke aus Sedimenten der Oberkreide und des Alttertiärs (z. B. Rupel-Tone) würde ein optimales geologisches Barriere-System darstellen. Dies ist aufgrund der für das Bergwerkskonzept geforderten geringen Tiefenlage des Caprock im allgemeinen nicht gegeben. Jedoch erscheint auch eine unverritzte und möglichst ungestörte Überdeckung allein durch die Tone des Alttertiär (Eozän, Rupel) akzeptabel.

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

Von 28 betrachteten nichtsalinaren Formationen wurden fünf als besonders untersuchungswürdig ausgewählt, drei in Sachsen, jeweils ein Standort in Bayern und Sachsen-Anhalt.

Der Salzstock Gorleben wurde in den Studien nicht betrachtet.

Atomausstieg und Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AkEnd)

Nach der Bundestagswahl 1998 wurde in Umsetzung der Koalitionsvereinbarung zwischen der SPD und Bündnis 90/Die Grünen neben dem Ausstieg aus der Nutzung der Kernenergie und damit der weitgehenden Beschränkung der Menge von radioaktiven

Abfällen auch eine neue Herangehensweise bei der Entsorgung und Endlagersuche verfolgt.

Anfang 1999 richtete das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) den **Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AkEnd)** ein. Die 16 berufenen Fachleute aus den Gebieten Geowissenschaften, Physik, Kerntechnik, Bergbau, Bauingenieurwesen, Öffentlichkeitsarbeit und Sozialwissenschaften hatten die Aufgabe, ein nachvollziehbares Auswahlverfahren auf der Grundlage wissenschaftlich fundierter Kriterien zu entwickeln. Als Randbedingungen wurden folgende politische Zielsetzungen vorgegeben:

- Alle radioaktiven Abfälle sollen in tiefen geologischen Formationen in Deutschland endgelagert werden.
- Für die Endlagerung aller Arten und Mengen radioaktiver Abfälle reicht ein Endlager aus, das ab 2030 betriebsbereit sein soll.

Die entwickelten Kriterien und Verfahrensvorschläge wurden der Fachwelt und der interessierten Öffentlichkeit im Dezember 2002 vorgestellt. Damit endete die Arbeit des AkEnd. Nach Vorstellungen des AkEnd ist in einer Phase II das Verfahren festzulegen, in der Phase III ist das eigentliche Standortauswahlverfahren unter repräsentativer Beteiligung der gesellschaftlichen und politischen Kräfte vorgesehen.

Mit den Energieversorgungsunternehmen wurden Gespräche zum „Atomkonsens“ aufgenommen. Das Ergebnis ist die „Vereinbarung zwischen der Bundesregierung und den Energieversorgungsunternehmen“, die am 14. Juni 2000 paraphiert und am 11. Juni 2001 unterschrieben wurde.

Der nationale Ausstieg aus der Kernkraftnutzung und das Verbot, ab 2005 **bestrahlte Brennelemente** zur **Wiederaufarbeitung** abzugeben, wurde 2002 durch eine Novelle des Atomgesetzes rechtlich abgesichert. Damit ist für bestrahlte Brennelemente zukünftig die direkte Endlagerung alleiniger Entsorgungsweg.

Erkundungsbergwerk Gorleben

Die 1983 von der Bundesregierung beschlossene untertägige Erkundung am Standort Gorleben begann im Jahr 1986 mit der Erstellung der Schächte.

Auf der Grundlage der vorläufigen Erkundungsergebnisse wurden wiederholt Grobplanungen für die Endlagerung sowohl von Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen als auch von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung aufgestellt.



Auswahlverfahren: der AkEnd präsentiert seine Vorschläge für eine Endlagersuche

Die getrennten Abfallströme sollten danach über denselben Schacht nach Untertage transportiert und in unterschiedlichen Bereichen des Salzstocks eingelagert werden.

Im Jahr 2000 wurde im „Atomkonsens“ eine Unterbrechung der Erkundung des Salzstocks Gorleben bis zur Klärung konzeptioneller und sicherheitstechnischer Fragen für mindestens drei, längstens jedoch zehn Jahre vereinbart und die Erkundungsarbeiten daraufhin Ende September 2000 eingestellt, da die weitere untertägige Erkundung keinen Beitrag zur Beantwortung der genannten Fragen leisten kann. Die damit verbundenen personellen Anpassungsmaßnahmen bei der vom BFS mit der Betriebsführung beauftragten Deutschen Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE) wurden sozialverträglich gestaltet, der Bund stellte dafür Finanzhilfen zur Verfügung.

In der Anlage 4 zum Atomkonsens erklärt der Bund zur Erkundung des Salzstocks in Gorleben:
Die analytisch bestimmten Hebungsraten des Salzstockes lassen erwarten, dass im Hinblick auf mögliche Hebungen auch in sehr langen Zeithorizonten (größtenordnungsmäßig 1 Mio. Jahre) nicht mit hierdurch verursachten Gefährdungen zu rechnen ist. Es wurden keine nennenswerten Lösungs-, Gas- und Kondensateinschlüsse im Älteren Steinsalz gefunden. Die bisherigen Erkenntnisse über ein dichtes Gebirge und damit die Barrierefunktion des Salzes wurden positiv bestätigt. Somit stehen die bisher gewonnenen geologischen Befunde einer Eignungshöflichkeit des Salzstockes Gorleben zwar nicht entgegen.



Vertreter der Energiewirtschaft und der Bundesregierung nach der Unterzeichnung des Atomkonsens (Quelle: Bundesbildstelle)

Allerdings sieht die Bundesregierung im Zusammenhang mit der laufenden internationalen Diskussion die Notwendigkeit, die Eignungskriterien für ein Endlager fortzuentwickeln und die Konzeption für die Endlagerung radioaktiver Abfälle zu überarbeiten. Der Stand von Wissenschaft und Technik und die allgemeine Risikobewertung haben sich in den letzten Jahren erheblich weiter entwickelt; dies hat Konsequenzen hinsichtlich der weiteren Erkundung des Salzstockes in Gorleben.

Vor allem folgende Fragestellungen begründen Zweifel:

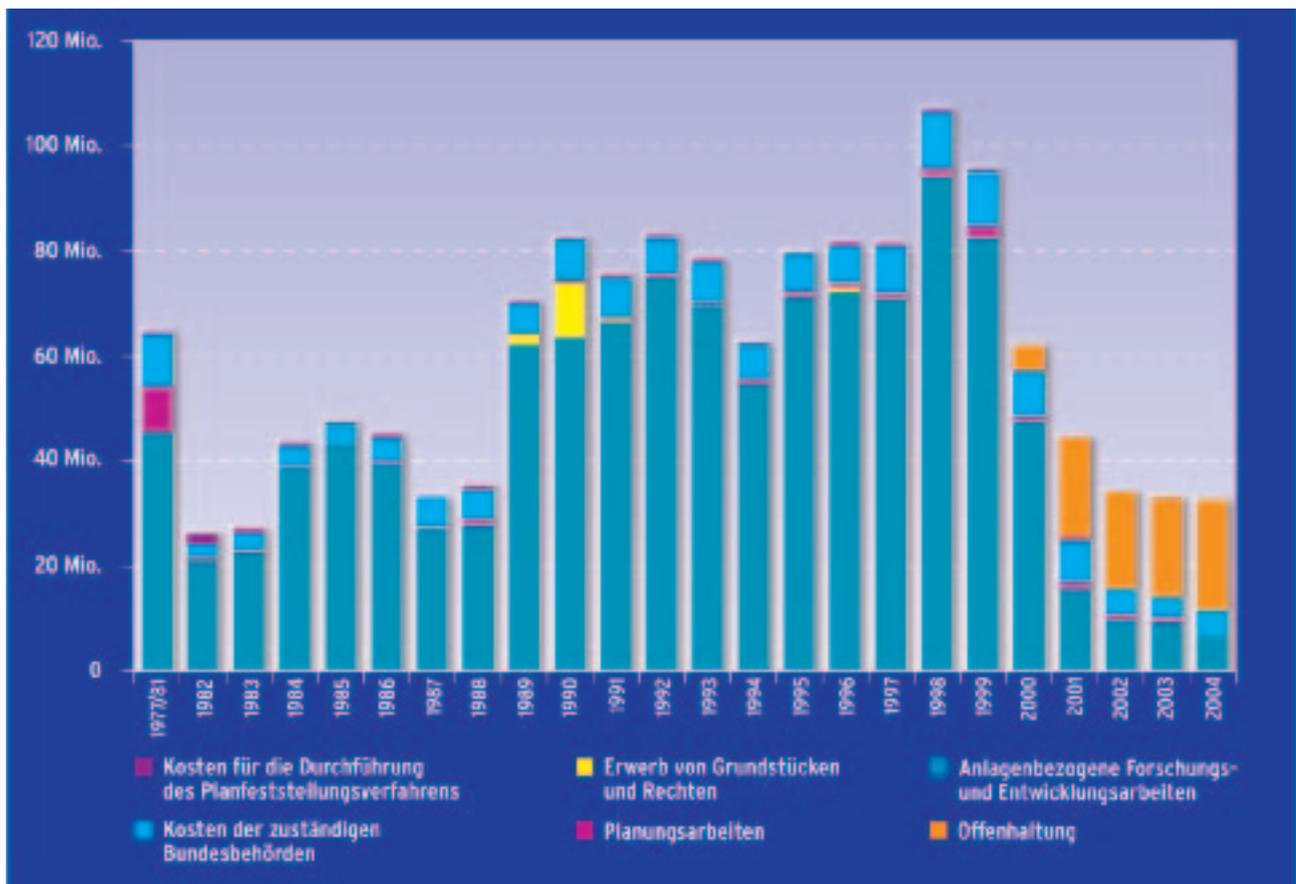
- *Die Beherrschbarkeit von Gasbildung in dichtem Salzgestein in Folge von Korrosion und Zersetzung der Abfälle stellt ein besonderes Problem dar.*
- *International wird verstärkt die Rückholbarkeit der radioaktiven Abfälle gefordert. Dagegen zielt die bisherige Konzeption auf den dichten Einschluss im Salz.*
- *Die Geeignetheit von Salz als Wirtsgestein im Vergleich zu anderen, wie Ton oder Granit, ist vor dem Hintergrund der Erkenntnisse in anderen Ländern zu untersuchen.*
- *Bei der direkten Endlagerung bestrahlter Brennelemente müssen voraussichtlich zusätzliche Anforderungen erfüllt werden, um langfristig die Kritikalität (kritische Ansammlung spaltbarer Stoffe) auszuschließen.*
- *Die Internationale Strahlenschutzkommission wird voraussichtlich bald Empfehlungen veröffentlichen, die erstmalig ein radiologisches Schutzziel für unbeabsichtigtes menschliches Eindringen in ein Endlager beinhalten.*

Im Rahmen der Arbeiten des AkEnd wurden allgemein die Ausgleichsleistungen an Land, Landkreise und Gemeinden zur Abgeltung von Sonderbelastungen im Zusammenhang mit geplanten nuklearen Entsorgungseinrichtungen hinterfragt. Die Deutsche Gesellschaft zur Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen mbH (DWK) – eine seit 1977 tätige Gesellschaft der Energieversorger – hatte sich gegenüber dem Bund verpflichtet, „zur Entlastung von infrastrukturellen Kosten, die durch die Verwirklichung des Nuklearen Entsorgungszentrums Gorleben verursacht werden, an die Öffentliche Hand einen pauschalen Betrag von 200 Millionen DM (102 Mio. €) zu zahlen. Von den 200 Millionen DM entfielen 24,5 Millionen DM auf den Landkreis Lüchow-Danenberg, 45,5 Millionen DM auf das Land Niedersachsen und 130 Millionen DM auf den Bund. Die Zahlungen der DWK gingen an den Bund. Die auf den Landkreis und das Land Niedersachsen entfallenden Beträge stellte der Bund dem Land Niedersachsen zur Verfügung. Hierzu schloss der Bund mit dem Land Niedersachsen mit Datum vom 09. Februar

1979 eine Verwaltungsvereinbarung. In verschiedenen Quellen werden weitere Zahlen genannt, wobei unklar bleibt, ob diese sich widersprechen oder nur unscharf voneinander abgegrenzt sind. Insgesamt ergibt sich in den Augen der Öffentlichkeit ein intransparentes Bild von Geldflüssen, das immer wieder zum Vorwurf der Korruption oder Bestechung führt. Der AkEnd kommt deshalb in seinem Abschlussbericht zu einem Konzept der Regionalentwicklung: ... *Mit der Erarbeitung eines regionalen Entwicklungskonzeptes und der Umsetzung der darin vorgeschlagenen Maßnahmen sollen die mit einem Endlager einhergehenden zukünftigen Chancen ausgelotet und wahrgenommen werden, ohne damit den Eindruck der „politischen Landschaftspflege“ oder gar der „Bestechung“ zu vermitteln. Damit ein solcher*

Eindruck nicht entsteht, muss die Finanzierung einer regionalen Entwicklungsperspektive auf einer zulässigen rechtlichen Grundlage erfolgen. Dabei ist zu beachten, wie die Finanzierungsstrategien im Hinblick auf Verfahrenskultur und Demokratieverträglichkeit in der Öffentlichkeit wahrgenommen werden könnten...

In den Jahren 1977 bis 2004 wurden für das Projekt Gorleben insgesamt etwa 1,431 Milliarden € verausgabt. Dabei sind die Beträge für 2004 lediglich Abschlagszahlungen. Die Verteilung auf die verschiedenen Jahre und die unterschiedlichen Kostenarten zeigt die nachfolgende Grafik. Die Offenhaltung des Erkundungsbergwerks schlägt mit rund 20 Millionen € pro Jahr zu Buche und wird von den Abfallverursachern getragen.



Kosten des Projektes Gorleben in Euro

4 SCHACHTANLAGE KONRAD

4.1 ERKUNDUNG

Die Schachtanlage Konrad ist das jüngste der ehemaligen Eisenerzbergwerke im Raum Salzgitter. Die Eisenerzvorkommen waren seit dem 19. Jahrhundert Grundlage der Industrialisierung im Raum Salzgitter. Die Lagerstätten entstammen dem Oberen Jura (Malm) sowie der Ober- und Unterkreide, sie entstanden also vor etwa 150 bis 60 Millionen Jahren. Das Eisenerz wurde im Tage- und Tiefbau abgebaut. Der durch die Schachtanlage Konrad aufgeschlossene Eisenerzhorizont stammt aus dem Malm. Der erzführende Bereich erstreckt sich über eine Länge von 60 km von Salzgitter-Hallendorf bis in das Gebiet von Vorhop, nördlich von Gifhorn. Die Breite liegt zwischen 8 und 15 km. Dieses Erzvorkommen erreicht an keiner Stelle die Erdoberfläche und wurde erst bei Erdölaufschlussbohrungen von 1933 bis 1938 entdeckt.

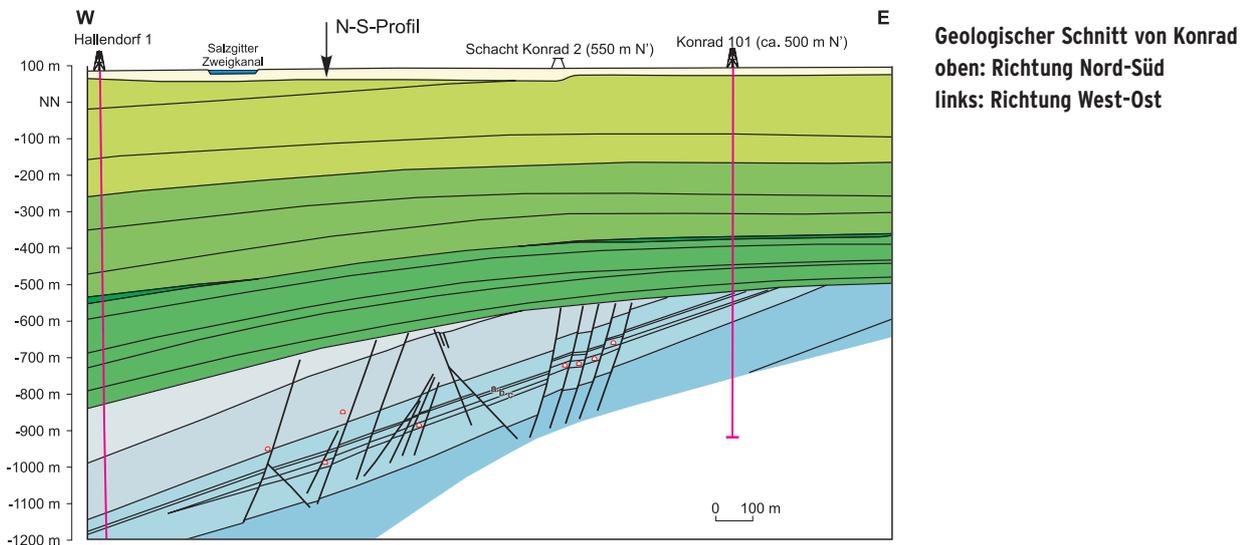
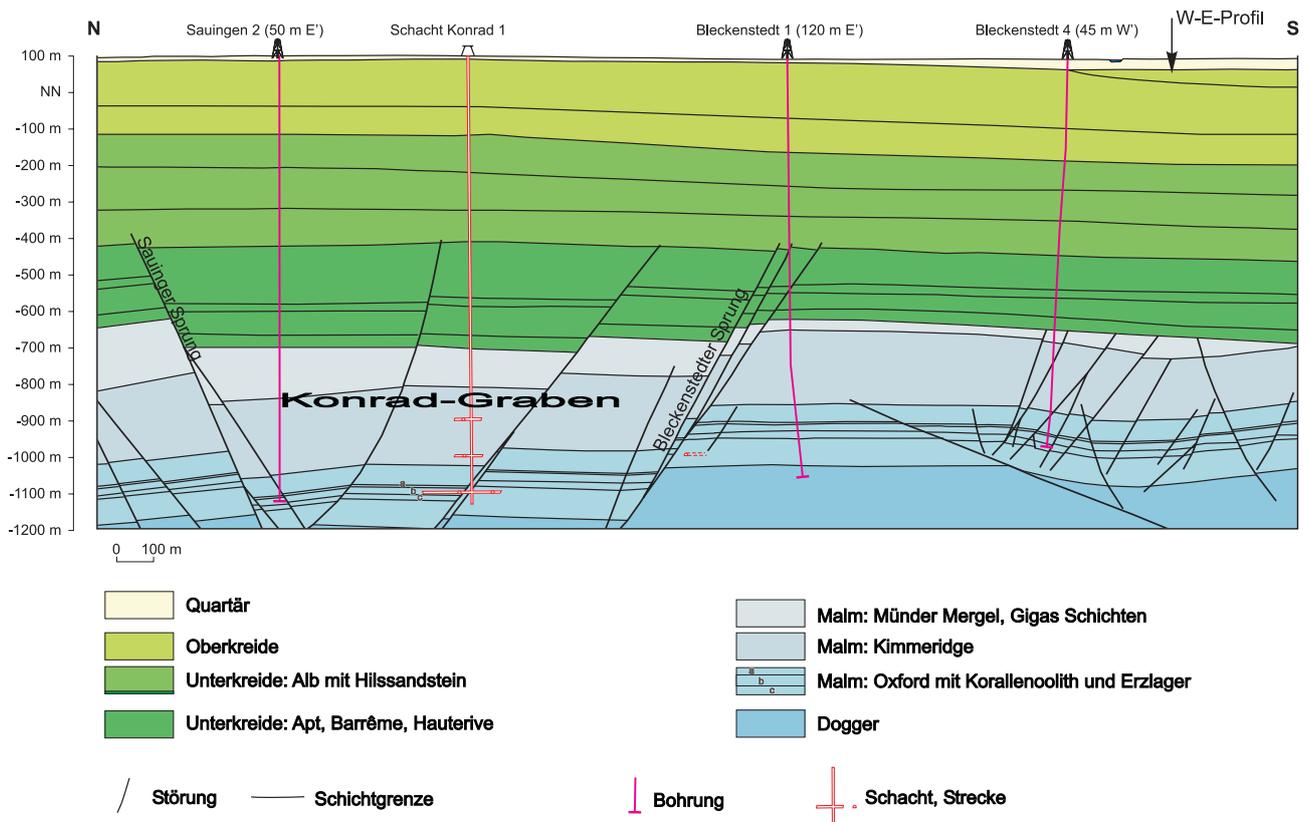
In der für ein Eisenerzbergwerk außerordentlich trockenen Grube wurden von 1975 bis 1988 Untersuchungen zur Eignung als Endlager für radioaktive

Abfälle durchgeführt, Bewertungsgrundlage waren unter anderem die 1983 veröffentlichten „Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle“. 1976 wurde der Produktionsbetrieb wegen Unwirtschaftlichkeit eingestellt. Insgesamt wurden 6,7 Millionen Tonnen Erz abgebaut, das sind lediglich 0,5 % des ursprünglich geschätzten Lagerstättenvorrats. Die Grube besteht aus dem Schacht Konrad 1 nordwestlich des Stadtteils Salzgitter-Bleckenstedt und dem 1.400 m davon in südöstlicher Richtung liegenden Schacht 2. Schacht 1 hat eine Tiefe von circa 1.230 m unter Geländeoberfläche, Schacht 2 von 999 m, der Durchmesser beträgt je 7 m. Die hohe Temperatur von 40 bis 49°C in diesen Tiefen erfordert eine starke **Bewetterung**. Die bestehenden Hohlräume des Grubengebäudes können für die Endlagerung radioaktiver Abfälle nur zu einem kleinen Teil genutzt werden (Feld 1), weil die alten Abbaue teilweise verfüllt wurden oder wegen Einsturzgefahr nicht mehr begehbar sind.

Im Rahmen der übertägigen Erkundung wurde eine Tiefbohrung in der Nähe des Schachtes Konrad 2 bis



Luftansicht der Schachtanlage Konrad

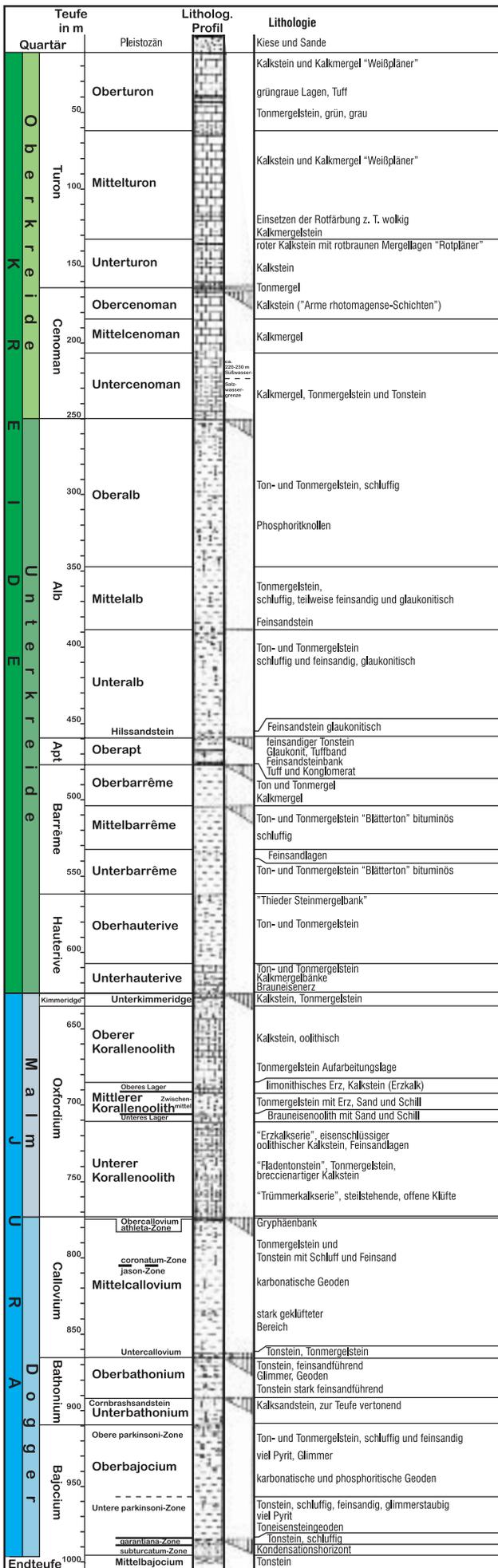


Das zu betrachtende Gebiet liegt zwischen den Salzstrukturen Broistedt-Vechelde, Thiede, Flachstöckheim und dem Salzgitter-Höhenzug.

Das älteste Strukturelement ist die Immendorfer Störung. Sie trennte in der Zeitspanne Unterer bis Mittlerer Buntsandstein vor etwa 225 Millionen Jahren (siehe auch die Grafik „Zeitalter der Erdgeschichte“ auf der Innenseite des hinteren Umschlags) eine sich stark senkende Ost- von einer sich weniger senkenden West-Scholle. Bereits in der Zeitspanne Oberer Buntsandstein vor etwa 220 Millionen Jahren bis zum Muschelkalk bis vor circa 210 Millionen Jahren kam es zur Tendenzumkehr: Von nun an sank die

West-Scholle stärker ein. Im Keuper und Lias bis vor etwa 180 Millionen Jahren war die Störung durch starkes Absinken der West-Scholle aktiv. Die Tendenz ist noch bis in den Dogger vor rund 160 Millionen Jahren hinein nachweisbar, am nördlichen Ende hören die Bewegungen jedoch bereits im Lias auf. Vor Beginn des Vordringens des Meeres in der Unterkreide sind die Bewegungen zur Ruhe gekommen.

Der Konrad-Graben ist ein Störungssystem, das im Wesentlichen vom Bleckenstedter Sprung im Süden und vom Sauringer Sprung im Norden begrenzt wird. Beide enden im Westen an der Salzstruktur Vechelde-Broistedt und im Osten etwa dort, wo die randlichen



Profil der Tiefenbohrung Konrad 101

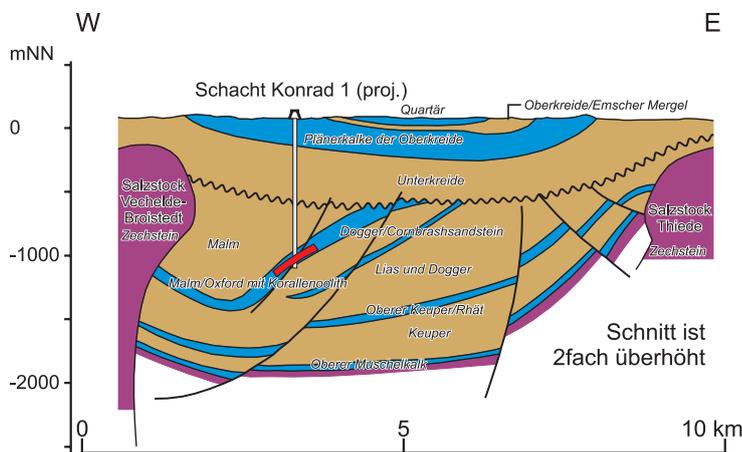
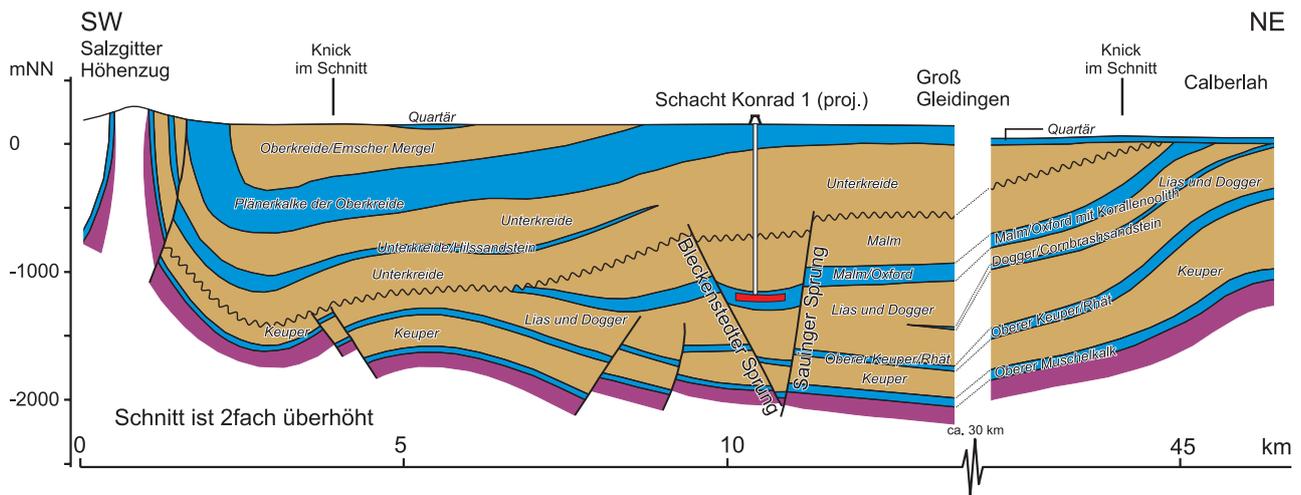
Störungen zusammentreffen. Grubenaufschlüsse und reflexionsseismische Befunde weisen darauf hin, dass der Graben während der Entstehung des Erzlagers im Oxford noch nicht bestand. **Mächtigkeit**verteilungen zeigen, dass die Bewegungen an den Grabenstörungen im tieferen Abschnitt der Unterkreide stattfanden. Für die Begleitstörungen nördlich des Sauninger Sprungs ist gesichert, dass dort seit dem Oberapt vor etwa 100 Millionen Jahren keine Bewegungen mehr stattfanden.

Die eigentliche geologische Barriere zum oberflächennahen Grundwasser sind die tonigen Unterkreideschichten, die die trogförmig liegenden Juraschichten weiträumig überlagern. Die Barriere Deckgebirge nimmt in ihrer Mächtigkeit – entsprechend dem Einfallen der Endlagerformation – von Ost nach West zu. Zusätzlich ist sie im Konrad-Graben generell etwa 100 m mächtiger als südlich des Bleckenstedter Sprungs. Die Überdeckung durch tiefere Unterkreide ist über dem Grubengebäude nirgends geringer als 170 m. Nach Westen nimmt sie auf etwa 270 m, nördlich des Bleckenstedter Sprungs auf fast 400 m zu. Die weitere Überdeckung des Grubengebäudes durch das Alb beträgt im Mindestfall im Osten 210 m. Sie nimmt nach Westen auf maximal 300 m zu. Der die gute Barrierewirkung störende Sandhorizont an der Basis des Alb (Hilssandstein) kommt nur über den südlichen Teilen des Grubengebäudes in Mächtigkeiten von maximal etwa 5 m vor.

Die gute Qualität der Barriere Unterkreide konnte durch vielfältige Laboruntersuchungen zur Petrographie, Geochemie, Porosität, Permeabilität, zum Sorptionsverhalten und zu den Gesteinsfestigkeiten an den Kernen der Bohrung Konrad 101 nachgewiesen werden.

4.3 HYDROGEOLOGIE

Die hydrogeologischen Verhältnisse sind durch einen ausgeprägten Stockwerksbau gekennzeichnet. Das oberflächennahe, örtlich durch den Menschen beeinflusste und genutzte Grundwasser befindet sich im Wesentlichen in Quartärlagerungen und steht mit den örtlichen Vorflutern in hydraulischer Verbindung. Unterhalb von 100 m enthält das Grundwasser beträchtliche Mengen gelöstes Salz. Die tieferen Grundwasserstockwerke bestehen aus einzelnen wasserleitenden Schichten. Sie sind durch gering wasserleitende Tonschichten voneinander getrennt. Das System wird nach unten durch die Salzsichten des Mittleren Muschelkalk und seitlich durch Salzstöcke begrenzt.



Legende			
	Grundwasserleiter		Störung
	Grundwassergering- und -nichtleiter		Transgression
	wasserundurchlässiges Gestein		Schichtgrenze
	geplantes Endlager		

Hydrogeologischer Schnitt von Konrad
 oben: Richtung Süd-West
 links: Richtung West-Ost

Für einen denkbaren Transport von Radionukliden aus dem Endlagerbereich in die Biosphäre ist entsprechend den genannten hydrologischen Barrieren ein Nord-Süd gerichteter Streifen von etwa 14 km Breite und 40 km Länge zu betrachten (siehe Grafik auf folgender Seite, grüner Rahmen). Die Grundwasserbewegung – Strömungswege und Laufzeiten – in diesem Gebiet wurde durch Simulationsrechnung modellhaft berechnet.

Bei dem derzeitigen internationalen Stand der Technik für numerische geohydraulische Rechenmodelle ist es nicht möglich, komplexe räumliche hydrogeologische Systeme mit Berücksichtigung der Salz-/Süßwasserproblematik zu modellieren. Es werden deshalb Modelle verwendet, die überall die gleiche Wasserdichte voraussetzen. Solche geohydraulischen Modelle sind insofern zum Nachweis der Langzeitsicherheit des Endlagers Konrad verwendbar, als davon ausgegangen werden kann, dass die errechneten Laufzeiten bei der Berücksichtigung der vorhandenen variablen Wasserdichte größer wären als die Süßwasserlaufzeiten (sogenannte konservative Abschätzung).

Im Norden, in der Allerniederung östlich von Gifhorn, steht der Korallenoolith mit dem obersten Grundwasserstockwerk in Verbindung. Die Bewegung der Formationswässer in den tieferen Stockwerken und damit auch durch den potenziellen Einlagebereich geht von den Erhebungen des Salzgitter-Höhenzugs aus, in denen mesozoische Gesteine an der Erdoberfläche austreichen. Von den hydraulischen Eigenschaften der Schichten und ihren Lagerungsverhältnissen hängt es ab, wie stark sich dieses Gefälle im tiefen Untergrund auswirkt und dort zu einem Tiefenwasserabstrom in nördlicher Richtung führt.

Diese Verhältnisse werden bei der Modellierung als Randbedingungen konstant gehalten. Bei einer realistischen Erosionsrate von 0,1 Millimeter pro Jahr (mm/a) wäre der Salzgitter-Höhenzug als Ursache der Grundwasserbewegung nach etwa 1 Million Jahren nicht mehr vorhanden. Weiterhin ist in geologisch kurzen Zeiten von 3.000 bis 10.000 Jahren mit Klimaänderungen zu rechnen, so dass die gesetzten Randbedingungen nur für maximal 10.000 Jahre als verlässlich gelten können.

Das Grundwasser wandert im Wesentlichen aus den unterhalb der Schachanlage befindlichen Schichten des Oberen Muschelkalk und des Rhät in das Grubengebäude. Diese **Migration** wird durch Tonsteine des Lias und Dogger stark gehemmt. Die natürlichen Wegsamkeiten zu den wasserführenden Schichten nahe der Erdoberfläche sind äußerst gering, da die Unterkreide als mächtige Barriere den Malm nach oben abdichtet.

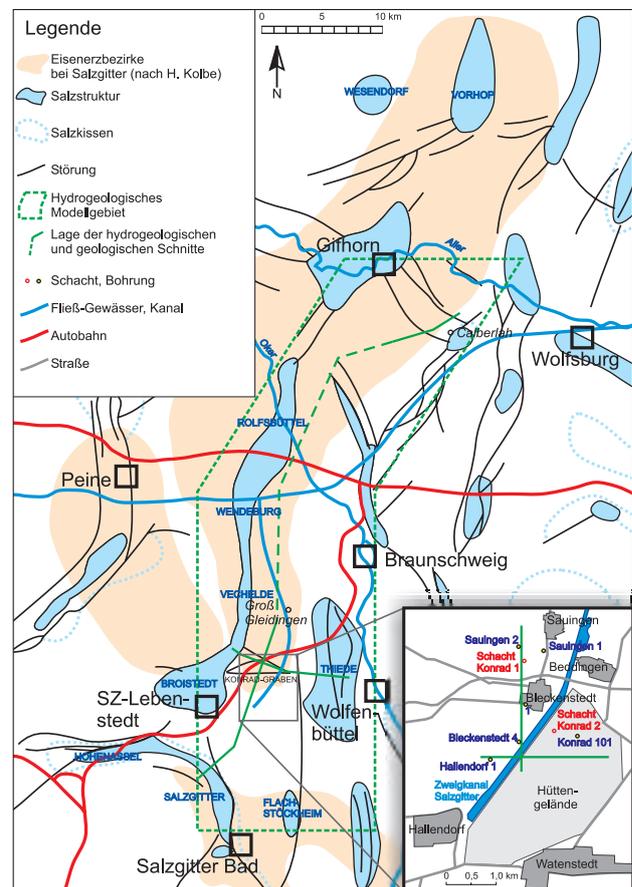
Tektonische Störungen und Störungszonen spielen für das allgemeine Fließgeschehen als hydraulische Verbindungen von getrennten Wasserleitern nur eine geringe Rolle. Im Korallenoolith aufgefundene wasserführende Klüfte reduzierten ihre **Schüttung** meist innerhalb kurzer Zeit oder versiegten völlig. In der Nähe des Grubengebäudes können daher keine weitreichenden – mehr als 1000 m – hydraulisch wirksamen Klüfte existieren. Auch im Bereich von größeren Störungen angefahrne wasserführende Klüfte und Zerrüttungszonen, wie am Bleckenstedter Sprung, versiegten nach kurzer Zeit.

In der Nähe der Schachanlage Konrad gibt es keine direkten natürlichen hydraulischen Verbindungen zwischen dem obersten Grundwasserstockwerk und dem Grubengebäude des geplanten Endlagers. Künstlich geschaffene Verbindungen, zum Beispiel frühere Aufschlussbohrungen, sind hydraulisch wirksam verfüllt. Auch die Schächte werden am Ende der vorgesehenen Betriebszeit in geeigneter Weise verschlossen.

Während der Betriebszeit des Endlagers ist die Gefahr eines unbeherrschbaren Wasserzutritts auf Grund der bisherigen Erfahrungen über die geringe Menge der im Grubengebäude aufgefundenen Wasservorkommen auszuschließen. In der Nachbetriebsphase wird sich jedoch der Resthohlraum allmählich mit Tiefenwässern auffüllen. Erst nach über 2000 Jahren werden sich die ursprünglichen Druckverhältnisse weitgehend wieder eingestellt haben, so dass die natürliche, sehr langsame regionale Tiefenwasserbewegung wieder beginnt. Für die Berechnung der Bewegung der Tiefenwässer wurden Modellrechnungen durchgeführt. Mit unterschiedlichen Parametersätzen wurden dabei verschiedene Anbindungen von Schichten und Einflüsse geologischer Störungen untersucht. Es zeigte sich dabei, dass vom Grubengebäude ausgehende Wassertransportpfade die Biosphäre je nach den zu Grunde gelegten **Durchlässigkeitsbeiwerten** für die Unterkreide an unterschiedlichen Stellen erreichen. Im

Wesentlichen sind folgende drei Pfade zu unterscheiden:

- Für den Fall eines Durchlässigkeitsbeiwertes der Unterkreidetone von 10^{-10} Meter pro Sekunde (m/s) wird eine Ausbreitung durch die Unterkreidetone errechnet. Das Quartär wird in der Nähe von Groß Gleidingen nach einer minimalen Laufzeit von etwa 430.000 Jahren erreicht (Pfad 1)
- In dem Fall eines Durchlässigkeitsbeiwertes der tonigen Unterkreidegesteine von 10^{-12} m/s ergibt sich für den größten Anteil des Wassers eine Ausbreitung durch das Oxford. Der Ausbreitungsweg ist mit 33 km deutlich länger. Der oberflächennahe Grundwasserleiter wird in der Nähe von Calberlah nach einer minimalen Laufzeit von etwa 300.000 Jahren erreicht (Pfad 2).
- Im letzteren Fall gelangt ein kleiner Anteil der Wassermenge, die den geplanten Endlagerbereich durchströmt, durch die Doggertone in den Cornbrash. Vor allem wegen der geringen Geschwindigkeit in den Doggertonen ergibt sich eine Transportzeit von etwa 1,1 Millionen Jahren (Pfad 3).



Lage von Schacht Konrad und geologische Begebenheiten der Umgebung

4.4 GEOLOGISCHE LANGZEITPROGNOSEN, SICHERHEITSANALYSEN UND LANGZEITSICHERHEITSNACHWEIS

Geologische Langzeitprognose und Gebirgsmechanik

Unmittelbar nach der Hohlraumerstellung treten abhängig vom Durchbauungsgrad unterschiedlich große **Konvergenzen** auf, die mit der Zeit logarithmisch abnehmen. Übertägige Senkungsschäden sind bisher nicht aufgetreten. Bei der Einhaltung der für die Schachtanlage Konrad festgelegten Ausbauregeln sind solche Schäden nicht zu erwarten und die Standfestigkeit ist gesichert. Das Deckgebirge wird homogenen Verformungen ausgesetzt, die einem Endwert zustreben. Neue Wasserwegsamkeiten sind nicht zu erwarten.

Im Laufe der Erdgeschichte gab es mehrere Eiszeitalter, die jeweils bis zu einigen Millionen Jahren dauerten. In Nord- und Mitteleuropa lassen sich im letzten Eiszeitalter drei bis vier Kaltzeiten (Glaziale) mit einer Dauer von je etwa 100.000 Jahren unterscheiden, die von Warmzeiten (Interglaziale) mit einer Dauer von 10.000 bis 30.000 Jahren unterbrochen wurden. Wir leben zur Zeit in einer Warmzeit, dem Holozän, das vor etwa 10.000 Jahren begann und dessen Wärmemaximum vor rund 4.500 Jahren überschritten wurde. Aus klimatischer Sicht könnte in einigen tausend bis zehntausend Jahren eine neue Kaltzeit beginnen. In Zeiten mit Klimabedingungen mit gefrorenem Boden, wie sie heute in Alaska und den Tundren Sibiriens herrschen, kann lediglich das Eindringen von Frost in den tieferen Untergrund die Barrierschichten beeinflussen. Als Eindringtiefe erscheinen 100 bis 200 m unter Umständen möglich. Ab 130 bis 170 m Tiefe nimmt jedoch der Salzgehalt des Grundwassers zu, wodurch der Gefrierpunkt herabgesetzt wird. Eine tiefgründige Bodengefrorennis wirkt sich auf die hydrogeologischen Verhältnisse sowie das mechanische Verhalten der Gesteine aus. Durch geringere Niederschläge und durch Behinderung des Eindringens von Wasser in den Untergrund auf Grund der mit Eis gefüllten Poren und Klüfte würde das Grundwasser sich nicht bewegen können. Die Gesteine der Barriere würden ihre Eigenschaften nur unwesentlich ändern. Lediglich durch den Gefrierdruck kann eine Zerrüttung des Gebirges und ein Aufweiten von bestehenden Klüften hervorgerufen werden, die beim Auftauen des Bodens zu erhöhten Durchlässigkeiten führen könnten. Diese Vorgänge sind jedoch nur in den oberen Bereichen zu erwarten, da die mit der Tiefe zunehmende Gesteinsauflast einen entsprechenden Gegendruck ausübt, dem sich das Eis durch Fließverformung zu entziehen sucht.

Während der vergangenen Kaltzeiten wurde zwar durch das Entstehen großer Eismassen der Meeresspiegel um mehr als 100 m erniedrigt. Eine nennenswert verstärkte Erosionstätigkeit der in die Nordsee entwässernden Flüsse trat jedoch nicht ein, da das Flussgefälle wegen der Flachheit des Nordseebeckens die gleiche Größenordnung beibehielt. Das auffälligste Merkmal der Eiszeiten war das Vordringen großer Eismassen aus dem Norden bis nach Norddeutschland oder sogar bis an den Rand der deutschen Mittelgebirge. Die Auflast des Eises verursacht sowohl großräumig als auch lokal Spannungsänderungen und Verformungen, die unter Umständen eine Festigkeitsüberschreitung der Gesteine verursachen könnten. Diese führt nicht zwangsläufig zu offenstehenden Klüften, auf denen Wasser zirkulieren könnte, sondern im Wesentlichen zur Bildung von Scherflächen. Das Quell- und Kriechvermögen, speziell der Barrierschichten der Unterkreide, würde zudem für eine Abdichtung sorgen. Durch die Eisauflast ist theoretisch eine beschleunigte Kompaktion der Barrierschichten möglich, wobei insbesondere die gering verfestigten Mergel- und Tonmergelsteine eine größere Festigkeit mit spröderem Bruchverhalten erhalten könnten. Da das Gebiet aber bereits früher durch Eismassen und zusätzliche Gesteinspakete belastet wurde, die jetzt abgeschmolzen oder erodiert sind, kann erst eine höhere Belastung als die vorhergegangene eine signifikante Kompaktion erzeugen. Damit wird aber für die zu betrachtende Zukunft nicht gerechnet.

Beim Vordringen des Eises wird zunächst der Untergrund flächenhaft bis zu wenigen zehn Metern abgetragen. Dieser Schutt findet sich in den Grund- und Endmoränen wieder. Lokal können durch das Eis selbst oder in Zusammenwirken mit Schmelzwässern tiefere Hohlformen entstehen (Zungenbecken, subglaziale Rinnen). In der Umgebung der Schachtanlage Konrad wurden quartäre Vertiefungen bis zu etwa 100 m unter der Geländeoberfläche festgestellt, die sich jedoch zum Teil auch als Subrosionssenken über den benachbarten Salzstöcken deuten lassen. Subglaziale Rinnen mit Tiefen von mehr als 200 m unter Meeresspiegel werden nur nördlich der Linie Gifhorn-Celle-Delmenhorst angetroffen. Ein tiefes Einschneiden solcher Hohlformen in Festgesteine wurde noch nirgendwo beobachtet. Die Tiefenlage, Verbreitung, **Mächtigkeit** und das physikalisch-chemische Verhalten der Barriergesteine lassen daher eine Gefährdung des Endlagers nicht erwarten.

Eine Erwärmung und eine Verschiebung der Klimazonen durch anthropogene Einflüsse (Klimakatastrophe) würden sich im Wesentlichen auf die hydrologischen Verhältnisse auswirken. Trockeneres Klima oder höhere Verdunstungsraten ziehen geringere

Grundwasserneubildungsraten nach sich, wodurch die Grundwasserbewegung verlangsamt wird.

Durch weltweit höhere Jahrestemperaturen würden die heute noch als Inlandeis gebundene Wassermassen freigesetzt und den Meeresspiegel um etwa 75 m erhöhen. Während für die oberflächennahen Grundwasserleiter keine entscheidenden Änderungen eintreten, wären für die tieferen Grundwasserstockwerke auf Grund geänderter Druckverhältnisse geringere Fließgeschwindigkeiten zu erwarten.

Die Abtragung von Gesteinen und Boden wird in flachen bis hügeligen Gegenden im Wesentlichen durch die Transportmedien Wasser, Luft und Eis verursacht, wobei in Norddeutschland letzteres auf die Eiszeiten beschränkt bleibt. Legt man eine für norddeutsche Verhältnisse hohe flächige Abtragung von 0,1 Millimeter pro Jahr (mm/a) zu Grunde und rechnet sie auf 100.000 Jahre hoch, so würde eine Gesteinsschicht von 10 m abgetragen werden. Die Abtragung kann bis auf Meeressniveau erfolgen, wobei die Geschwindigkeit der **Denudation** wegen der geringer werdenden Höhenunterschiede bis dahin ständig abnehmen würde. Nur eine Heraushebung der Region um den Standort Konrad würde die Abtragung weiterhin aufrecht erhalten. Bei möglichen **epirogenen** Hebungen von 0,1 mm/a würde das Gelände in 100.000 Jahren um 10 m aufsteigen. Die Unterkreidebarrieren über dem Endlager in **Teufen** über 100 m würden bei einer Abtragung in der gleichen Größenordnung erst zu einem wesentlich späteren Zeitpunkt angeschnitten werden.

Die Schachanlage Konrad liegt zwischen der Salzstruktur Broistedt-Vechelde im Westen und dem Salzstock Thiede im Osten. Stärkere Salznachschübe in diesen Strukturen lassen sich noch bis in die Oberkreide nachweisen. Mit geringen Bewegungen ist auch bis in die Gegenwart zu rechnen. Die Aufstiegs geschwindigkeit in der Phase nach Bildung des Salzstocks beträgt maximal wenige hundertstel Millimeter pro Jahr. Unterhalb des geplanten Endlagers befinden sich nur noch immobile **Zechsteinsalz**reste sowie die jeweils etwa 100 m mächtigen Salzfolgen des Oberen Buntsandsteins und des Mittleren Muschelkalkes, die keine Anzeichen einer Salzbe wegung aufweisen. In den nächsten Jahrhunderttausenden sind wegen der geringen halokinetischen Bewegungen keine nennenswerten Verformungen der darüber lagernden Schichten mehr zu erwarten, die die Wirksamkeit der Barriere beeinträchtigen könnten. Salzstöcke sind, besonders wenn sie bis nahe an die Oberfläche aufgestiegen und mit permeablen Sedimenten bedeckt sind, der Subrosion, das heißt der unterirdischen Ablaugung durch Grundwasser ausgesetzt. Geologisch langfristig ist davon auszugehen,

dass sich die Ablaugung mit dem Salzstockaufstieg die Waage hält. Eine epirogene Hebung der gesamten Region mit einer entsprechenden Denudation kann die Salzablaugung erhöhen. Die Entstehung einer Hohlform ist dann nicht zu erwarten, wenn der Substanzverlust an Salz durch eine entsprechende Aufstiegsrate des Salzstocks ausgeglichen wird. Geht man von einer hohen, über längere Zeit anhaltende Subrosionsrate von 0,1 mm/a aus, so ergibt sich in 100.000 Jahren ein Salzverlust von 10 m **Mächtigkeit**. Die generelle hydrogeologische Situation der Gegenwart bleibt demnach bei den möglichen Subrosionsraten erhalten. Voraussetzung für Einsturzbeben mit großer Schadwirkung sind große Hohlräume in geringer Tiefe und das gleichzeitige Zubruchgehen großflächiger Bereiche von 1 km² und mehr in der Nähe des Standorts. Am nächstgelegenen Salzstock Broistedt lassen sich die erforderlichen Hohlraumdimensionen wegen seiner flachen Überdeckung mit nachgiebigen tertiären und quartären Sedimenten nicht aufbauen. Durch Einsturzbeben ist deshalb mit einer Gefährdung des geplanten Endlagers nicht zu rechnen.

Über 90 % der heute aktiven vulkanischen Regionen der Erde sind an Plattengrenzen im Sinne der **Plattentektonik** gebunden. Der Standort Konrad liegt von diesen und den heute noch relativ aktiven tektonischen Gebieten Mitteleuropas, wie der Niederrheinischen Bucht oder dem Oberrheinalgraben sowie den quartären Vulkanausbruchstellen – Eifel, östliche Sudeten – bis zu mehreren hundert Kilometern entfernt. In der näheren Umgebung des Standortes klang der Magmatismus bereits vor einigen Millionen Jahren aus. Weiterhin sind keine Hinweise auf anomale Wärmeflussverhältnisse oder stärkere junge tektonische Vorgänge festgestellt worden, so dass sowohl magmatische als auch für diesen Raum ungewöhnliche starke tektonische Ereignisse in den nächsten hunderttausend Jahren sehr unwahrscheinlich sind. Tektonische Beben, die Schäden verursachen, waren in der Zone „Norddeutsches Tiefland“, in der der Standort der Schachanlage Konrad liegt, sehr selten.

Sicherheitsanalysen für die Betriebs- und Nachbetriebsphase, Langzeitsicherheitsnachweis

Für den sicheren Betrieb des geplanten Endlagers Konrad gilt die Forderung, dass der Schutz des Betriebspersonals und der Umgebung gewährleistet sein muss. In der Betriebsphase sind Grenzwerte einzuhalten, die in der Strahlenschutzverordnung festgelegt sind. Aus Sicherheitsanalysen ergeben sich Anforderungen an die Anlage, an die Betriebsführung, an die einzulagernden Abfälle sowie die durchzuführenden Verschlussarbeiten.

In der Betriebsphase müssen sowohl der bestimmungsgemäße Betrieb als auch mögliche Störfälle betrachtet werden. Bei Störfällen wie z. B. Absturz von Abfallgebänden, Fahrzeugbrand und anlageninternen Explosionen sind durch Auslegung der Anlage die Störfallgrenzwerte der Strahlenschutzverordnung einzuhalten. Die Ereignisse infolge von

- äußerer Einwirkung gefährlicher Stoffe und
- äußeren Druckwellen aus chemischen Reaktionen

werden auf Grund der geringen Eintrittswahrscheinlichkeit dem **Restrisiko** zugeordnet. Maßnahmen, die der Risikominimierung in diesen Fällen dienen, werden nicht für erforderlich gehalten. Gleichwohl wurden Untersuchungen zu den möglichen Auswirkungen eines Flugzeugabsturzes durchgeführt und von der Planfeststellungsbehörde berücksichtigt.

Für die Nachbetriebsphase nach endgültigem Verschluss des Endlagers sind sowohl die Giftigkeit auf Grund der **Radioaktivität (Radiotoxizität)** als auch auf Grund der chemischen Zusammensetzung wie beispielsweise Schwermetalle (**Chemotoxizität**) zu betrachten. Ein gemeinsamer Maßstab für die Giftigkeit – der **Toxizitätsindex** – kann auf der Grundlage einschlägiger Grenzwertsetzungen in der Strahlenschutzverordnung beziehungsweise der Trinkwasserverordnung gefunden werden. In der Modellbetrachtung wird weiterhin angenommen, dass sich die Chemotoxizität allein durch die sich nicht ändernde Zusammensetzung der anorganischen Bestandteile ergibt, da organische Gifte relativ zum anzulegenden Zeitmaßstab schnell abgebaut werden. Die Radiotoxizität nimmt entsprechend dem radioaktiven Zerfall mit der Zeit ab. Den zeitlichen Verlauf der Radio- und der Chemotoxizität der in den Schacht Konrad endzulagernden Abfällen zeigt die Grafik auf der folgenden Seite, in der die Toxizität und die Zeit logarithmisch aufgetragen sind. Anfangs ist die Radiotoxizität der Abfälle um gut zwei Zehnerpotenzen größer als die Chemotoxizität, nach etwa 1 Million Jahren sind beide Beiträge etwa gleich groß. Zum Vergleich sind die Radio- und Chemotoxizität der natürlichen Sedimente angegeben, die durch die Abfälle ersetzt werden. Bemerkenswert ist, dass die Radiotoxizität der Sedimente über den betrachteten Zeitraum konstant bleibt. Das ist darauf zurückzuführen, dass die natürliche Radiotoxizität durch die **Radionuklide** U-238, Th-232 und K-40 verursacht wird und diese **Halbwertszeiten** von mehr als 1.000 Millionen Jahre haben.

Das Schutzziel in der Nachbetriebsphase in der Zeit nach der Stilllegung eines Endlagers ist in den „Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk“, die als Rundschreiben des damals zuständigen Bundesministerium des Innern veröffentlicht wurden, festgelegt. Es besagt,

dass auch nach der Stilllegung eines Endlagers Radionuklide, die als Folge von nicht vollständig abschließbaren Transportvorgängen aus einem verschlossenen Endlager in die Biosphäre gelangen können, nicht zu Individualdosen führen dürfen, die den Wert von 0,3 Millisievert pro Jahr (mSv/a) überschreiten. Da die hydrogeologischen Rahmenbedingungen in der Regel nicht weitreichender zuverlässig prognostizierbar sind, haben RSK und SSK (Reaktor-Sicherheits- und Strahlenschutzkommission) einen erforderlichen Nachweiszeitraum für **Langzeitsicherheitsanalysen** von 10.000 Jahren empfohlen. Der Bund hat sich dieser Empfehlung nicht angeschlossen. Das Niedersächsische Umweltministerium hat im Planfeststellungsbeschluss einen Nachweiszeitraum von 100.000 Jahren zu Grunde gelegt.

Bei der Langzeitsicherheitsanalyse unterscheidet man prinzipiell zwei Schritte. Im ersten Schritt – der Szenarienanalyse – werden Entwicklungen aufgezeigt, wie es zu einer Freisetzung der Radionuklide und zum Transport in die Biosphäre kommen kann. Weiterhin wird die Eintrittswahrscheinlichkeit der verschiedenen denkbaren Szenarien abgeschätzt. In einem zweiten Schritt – der Konsequenzanalyse – werden zu den wahrscheinlichen Szenarien durch Modellierung die Belastungen in der Biosphäre berechnet. Dazu gehört die Modellierung

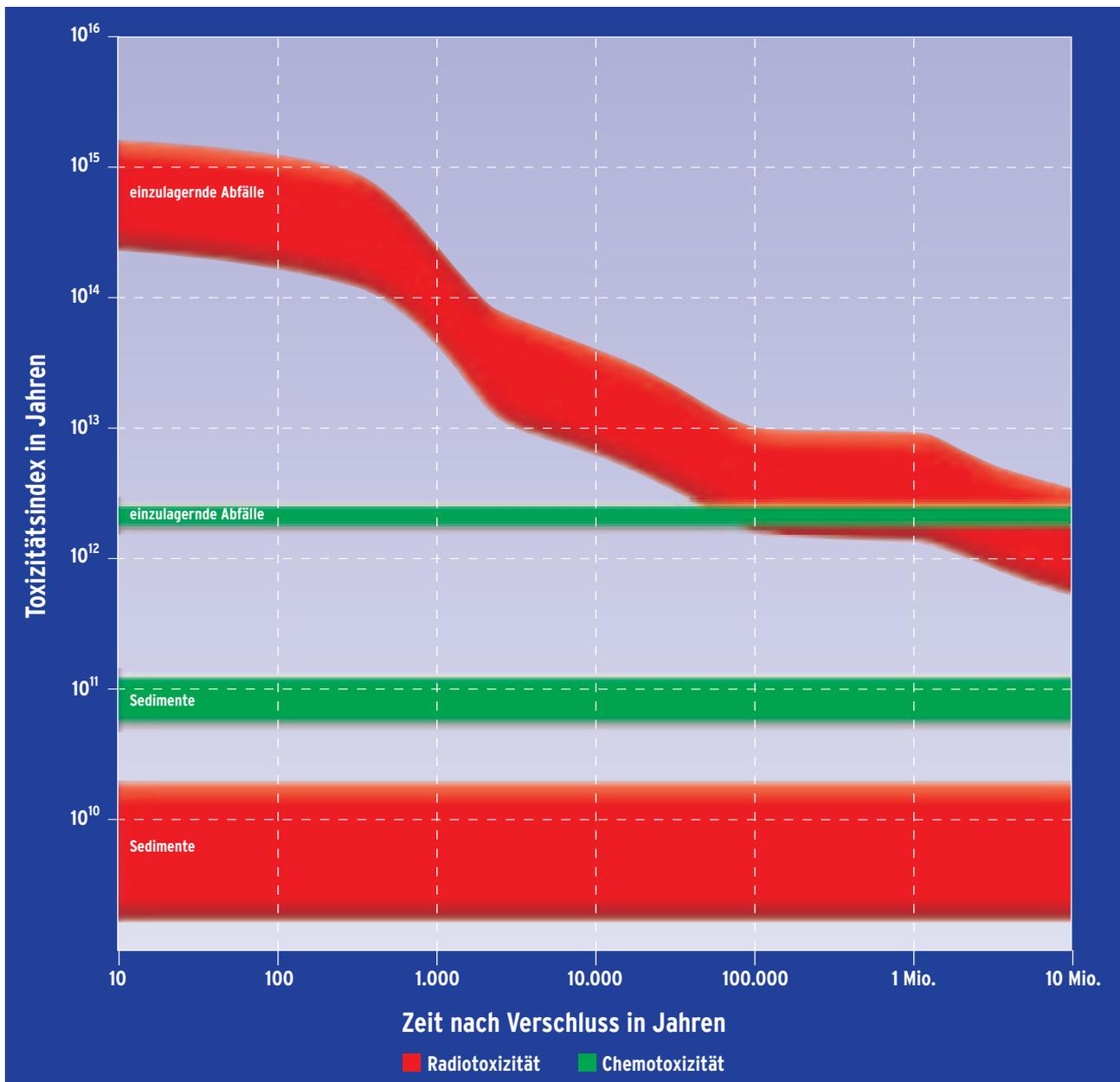
- der Freisetzung der Radionuklide aus den Abfällen in das Transportmedium Wasser,
- der Transportvorgänge, die im Wesentlichen beeinflusst werden durch die Grundwasserbewegungen, die Gasbildung sowie die Sorption und Dispersion der Radionuklide und
- der Verteilung der Radionuklide in der Biosphäre mit schließlicher Aufnahme durch den Menschen.

Im Fall des Schachtes Konrad ist in der Szenarienanalyse nur ein Szenario benannt worden. Dies geht davon aus, dass es in der Nachbetriebsphase sofort zum Zutritt von Formationswässern an das Einlagegut kommt. Nach Freisetzung der Radionuklide werden diese mit dem Grundwasserstrom in die Biosphäre getragen. Die hydrogeologischen Modellrechnungen zeigen, dass die minimale Laufzeit des Wassers bis zur Biosphäre 300.000 Jahre beträgt. Durch Sorption ist die Laufzeit der Nuklide in der Regel größer als die des Transportmediums Wasser. Aufbauend auf den Ergebnissen der hydrogeologischen Modellrechnungen zur Grundwasserbewegung wurde die Radionuklidausbreitung aus dem Endlagerbereich auf den drei zu unterscheidenden Ausbreitungswegen berechnet und die Individualdosis bestimmt. Die größte Strahlenexposition ergibt sich bei der Radionuklidausbreitung über das Oxford. Die Zeitverläufe der Äquivalentdosen zeigt die Grafik auf

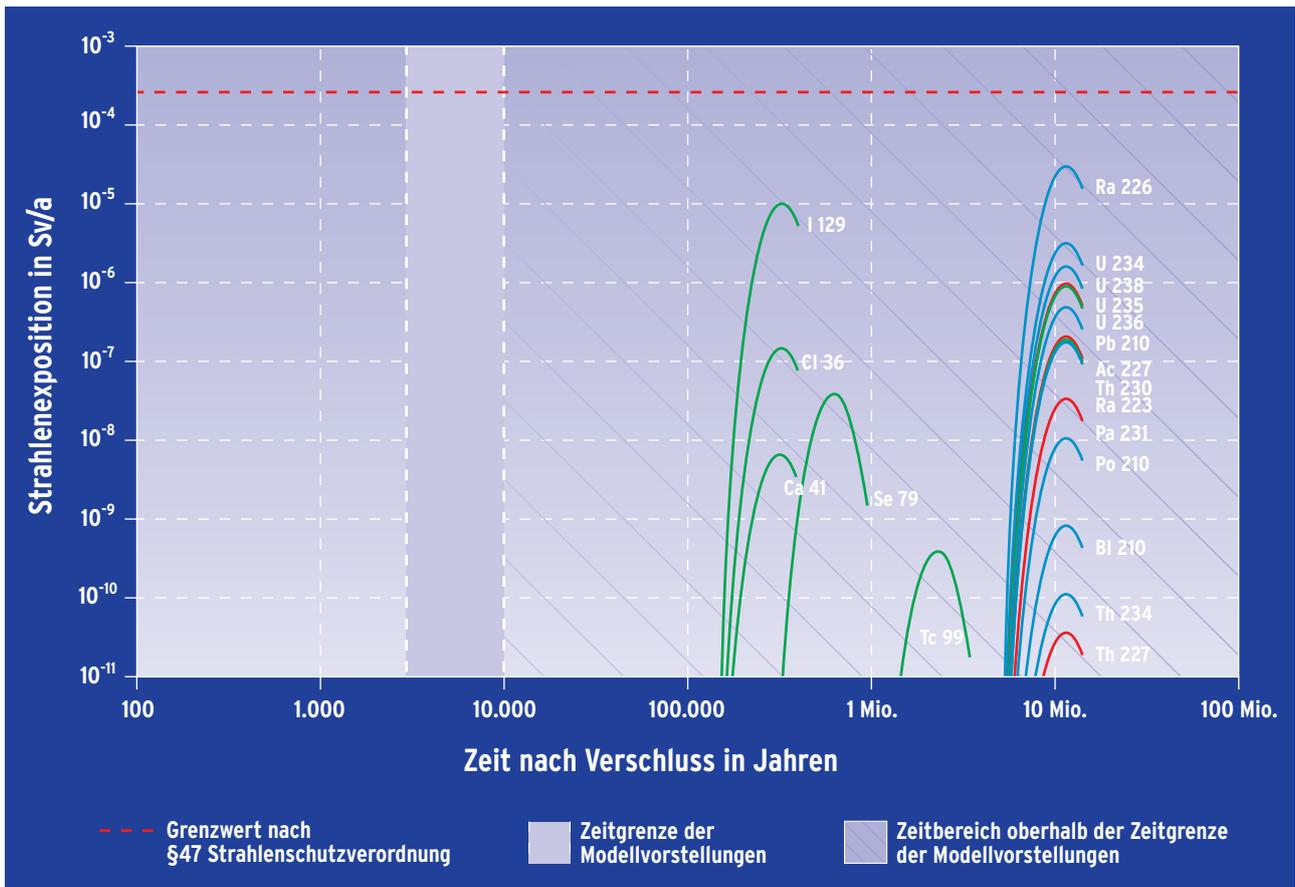
Seite 42. Die Belastung ist bei Kindern auf Grund der anderen Lebens- und Ernährungsgewohnheiten größer als bei Erwachsenen. Die Abbildung zeigt die Ergebnisse für Kinder. Nennenswerte potentielle Strahlenexpositionen ergeben sich rein rechnerisch erst nach 300.000 bis 360.000 Jahren durch das Radionuklid Jod-129 in der Größenordnung von 10^{-5} Sievert pro Jahr (Sv/a), was weit unterhalb der 0,3 mSv/a-Grenze ($= 30 \cdot 10^{-5}$) liegt. Radionuklide, die wesentlich stärker durch Sorption verzögert werden, führen erst nach 10 Millionen Jahren zu einer Belastung. Da die Randbedingungen der Modellberechnungen für maximal 10.000 Jahre eingehalten werden, zeigen diese Werte keine real zu erwartenden

Belastungen, sondern geben lediglich einen Hinweis auf Sicherheitsreserven.

Gesondert betrachtet wurde die Gasentwicklung und -ausbreitung im Endlager und deren Auswirkung auf die Grundwasserströmung. Beim Zutritt von Wasser in das Endlager nach Verschluss des Bergwerks entsteht vorwiegend aus dem in den Abfällen und den Abfallbehältern enthaltenen Eisen durch Korrosion Wasserstoff. In den ersten 60 Jahren löst sich dieses Gas in den Formationswässern auf und wird mit diesen transportiert. In den darauf folgenden 70 Jahren kommt es zur Bildung kleiner Gasbläschen. Erst danach bildet sich eine zusammenhängenden Gas-



Radio- und Chemotoxizität der einzulagernden Abfälle im Vergleich zu den Toxizitäten der Sedimente, die durch die Abfälle ersetzt werden - nach Planungsstand 1989 (aus: Plausibilitätsbetrachtung zur Chemotoxizität radioaktiver Abfälle, Physikalisch-Technische Bundesanstalt - Interner Arbeitsbericht, Januar 1989)



Effektive Äquivalentdosen für ein Kleinkind bei der Radionuklidausbreitung über das Oxford.

blase und Gas dringt auch in das Nebengestein ein. Mit der Bildung einer zusammenhängenden Gasblase wird Wasser mit den darin enthaltenen Radionukliden ausgepresst. Der Maximalwert der abgepressten Wassermenge wird nach 160 Jahren erreicht und hat eine Größe von 420 Kubikmeter pro Jahr (m³/a). Dies ist bei einem Endlagerdurchfluss je nach Rechenmodell von 630 bis 3.200 m³/a nicht vernachlässigbar. Die Freisetzung von Radionukliden aus dem Endlager wird aber nicht drastisch erhöht. Zwischenzeitlich treten Veränderungen in der Fließ-

richtung auf, so dass sich die Möglichkeit erhöht, dass Wasser aus dem Endlager zur Bohrung Bleckenstedt 1 gelangt. Die Modellierung zeigt aber, dass die Fließzeiten nicht sicherheitsrelevant sind. Der Druck wird durch die Gasbildung um bis zu 2,3 bar erhöht, was jedoch nicht zur Bildung neuer Wegsamkeiten führt; die Integrität des geplanten Endlagers bleibt erhalten. Die Gasbildung hält circa 5000 Jahre an. In der Modellrechnung wird die Entstehung eines Gasvolumens von insgesamt 210 Millionen m³ zu Grunde gelegt.

5 ERKUNDUNGSSTANDORT GORLEBEN

5.1 ENTWICKLUNG DER SALZSTRUKTUR GORLEBEN

Die Salzablagerungen des Salzstocks Gorleben gehen wie eine Vielzahl von Salzstrukturen in der Norddeutschen Tiefebene auf die Zeit vor rund 250 Millionen Jahren zurück. Im erdgeschichtlichen Zeitalter des Zechsteins (z) (siehe Abb. Umschlaginnenseite hinten) wurden bei der Eindunstung von Meerwasser große Mengen von Salzmineralien abgeschieden. In mehreren Zyklen wurden Folgen aus Ton- und Karbonatgesteinen, Anhydrit, Steinsalz und Kalisalz abgelagert. Die Folgen erhielten zu ihrer Unterscheidung die Namen von geographischen Räumen, in denen sie besonders typisch ausgebildet sind:

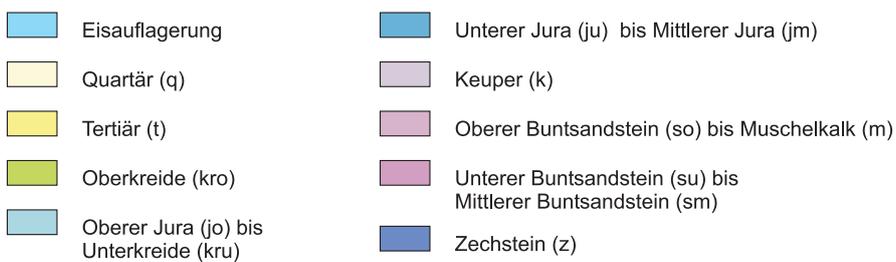
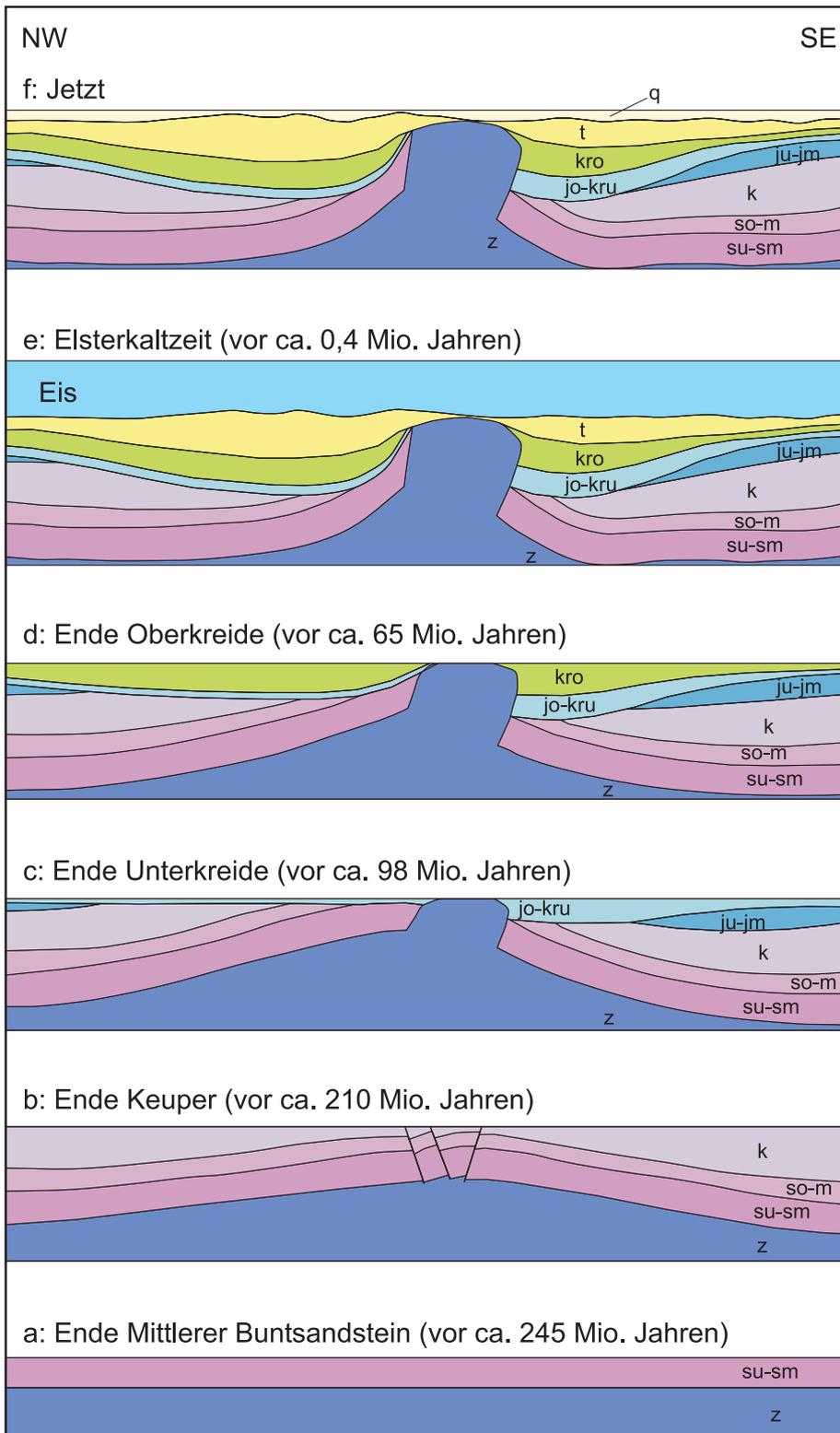
- Werra-(z1),
- Staßfurt-(z2),
- Leine-(z3) und
- Aller-Folge (z4).

Im Salzstock Gorleben sind davon im Wesentlichen die letzten drei Folgen aufgefunden worden, die Werra-Folge konnte lediglich in unter 3000 m **Teufe** nachgewiesen werden.

Die Formation des Zechsteins wurde im weiteren Verlauf der Erdgeschichte durch Schichten der Trias, des Jura, der Kreide, des Tertiärs und Quartärs überlagert. Unter der Last der sich über den Salzablagerungen aufbauenden Sedimente begannen die Salzmassen sich plastisch zu verformen – eine Besonderheit von Salzgesteinen – und auf Grund der im Vergleich zum überlagernden Gestein geringeren Dichte aufzusteigen. Bereits mit Ende des Keupers hatte sich ein Salzkissen gebildet, über dem die **Mächtigkeit** der Deckschichten abnahm, umgeben von Randsenken, aus denen das Salz abwanderte. Der Salzzufluss erfolgte zuerst aus Südosten, später wurde er aus nordwestlicher Richtung ergänzt. Schließlich durchbrachen die Salzgesteine überlagernde Schichten, es



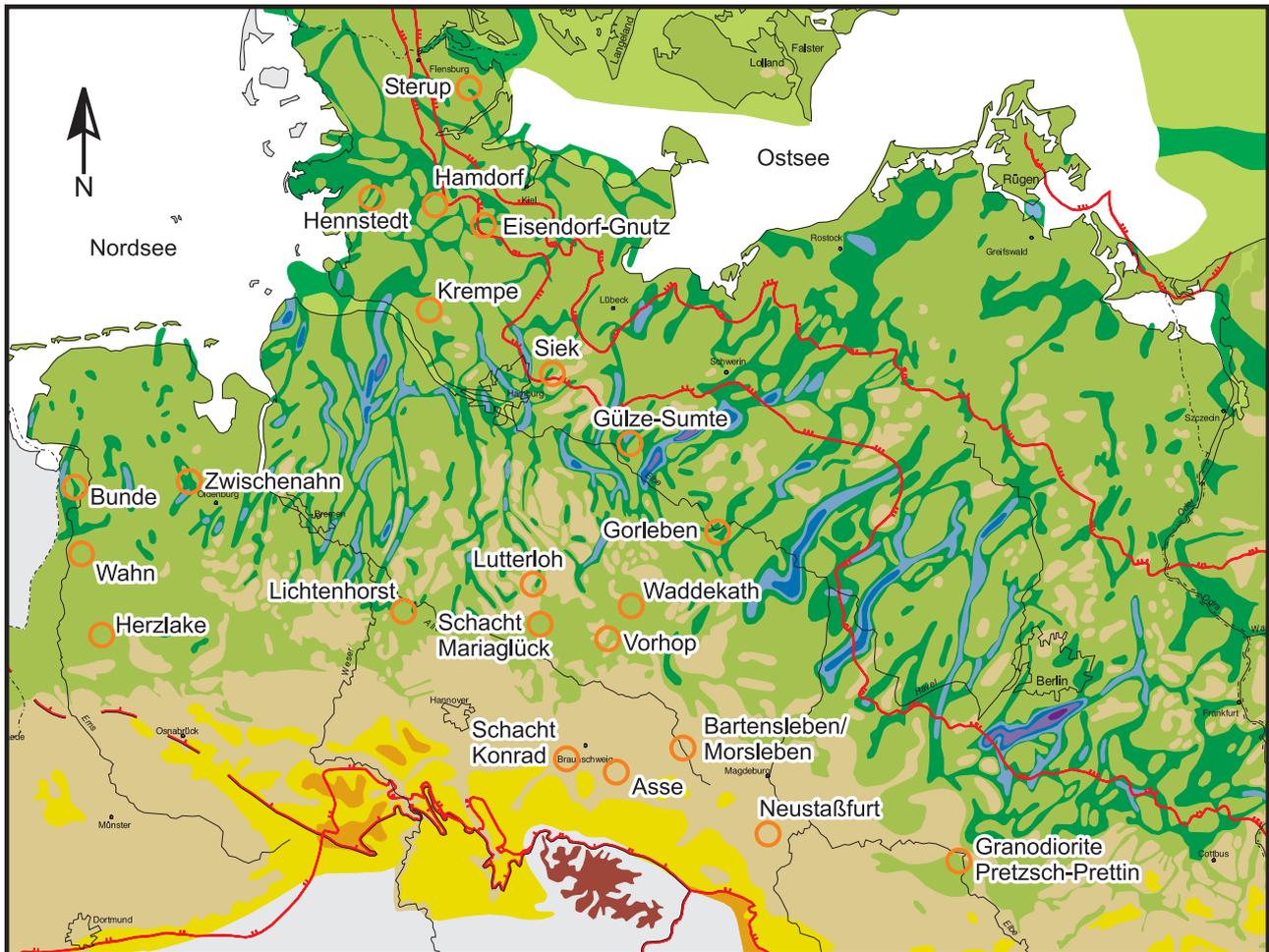
Salzstrukturen in der Norddeutschen Tiefebene.



Entwicklungsschema des Salzstocks Gorleben. Nordwest-Südost-Schnitt (nach Jaritz 1980)

kam zur Bildung des Salzstocks. Die Salzaufstiegsge-
 schwindigkeit erreichte ihr Maximum in der Ober-
 kreide beziehungsweise Untereozän mit 0,086 mm
 pro Jahr, gemessen als Hebung der Oberfläche.
 Danach ging sie zurück und erreichte im Miozän bis
 heute im Mittel 0,017 mm pro Jahr mit abnehmen-
 der Tendenz.

Durch die Salzstockbildung kamen Salzgesteine am
 Top in den Bereich oberflächennaher Grundwasser-
 strömungen und es begann ein Auflösungsprozess
 (Subrosion), bei dem sich eine weitgehend ebene
 Salzgesteinsoberfläche herausbildete (Salzspiegel).
 Zurück blieben dabei die unlöslichen Bestandteile
 des Salzes, die das Hutgestein bilden.



Tiefe der Quartärbasis

- über +500 m
- +500 m bis +300 m
- +300 m bis +200 m
- +200 m bis +100 m
- +100 m bis +/-0 m
- +/-0 m bis -100 m
- 100 m bis -200 m
- 200 m bis -300 m
- 300 m bis -400 m
- 400 m bis -500 m
- unter-500 m

Eisrandlagen der

- Weichsel-Kaltzeit (3 Stadien)
- Saale-Kaltzeit
- Elster-Kaltzeit
- diskutierte Endlagerstandorte



Neogeodynamica Baltica
 Project No.346

Base of Quaternary deposits
 of Northern Germany

Map compiled by
 G. SCHWAB & A. O. LUDWIG

using materials and maps of the Geological
 Surveys of Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern,
 Niedersachsen, Sachsen, Sachsen-Anhalt,
 Schleswig-Holstein, and the Federal Institute
 for Geosciences and Natural Resources

Maßstab



Ablagerung des Quartär in Norddeutschland

(Ausschnitt aus der Karte „Base of Quaternary deposits of the Baltic Sea depression and adjacent areas [Map No. 2; West sheet]
 in Brandenburgische Geowiss. Beitr. 8, 1, S. 13-19, Kleinmachnow)

In den Eiszeiten bildete Schmelzwasser im norddeutschen Raum eine Vielzahl von Abflussrinnen. Am Standort Gorleben befindet sich eine solche subglaziale Rinne aus der Elstereiszeit, die in nordöstlicher Richtung quer über den Salzstock verläuft. Die Abflussrinne reichte bis an den Salzspiegel heran, weshalb der Salzstock in diesem Bereich heute lediglich durch Sedimente des Quartärs abgedeckt ist (Gorlebener Rinne).

5.2 ERKUNDUNG DES SALZSTOCKS

Die übertägige Standorterkundung des Salzstocks Gorleben begann im Jahre 1979. Im Zeitraum bis 1985 erfolgten die Untersuchungen zunächst in einem circa 300 km² großen Gebiet, dessen Nordgrenze die Elbe bildete. In den Jahren 1996 bis 1999 wurden die Arbeiten dann auf die nördlich anschließende, in den Bundesländern Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg gelegene Elbe-Löcknitz-Niederung auf insgesamt 475 km² ausgedehnt. Das übertägige Erkundungsprogramm bestand aus folgenden fünf Teilbereichen:

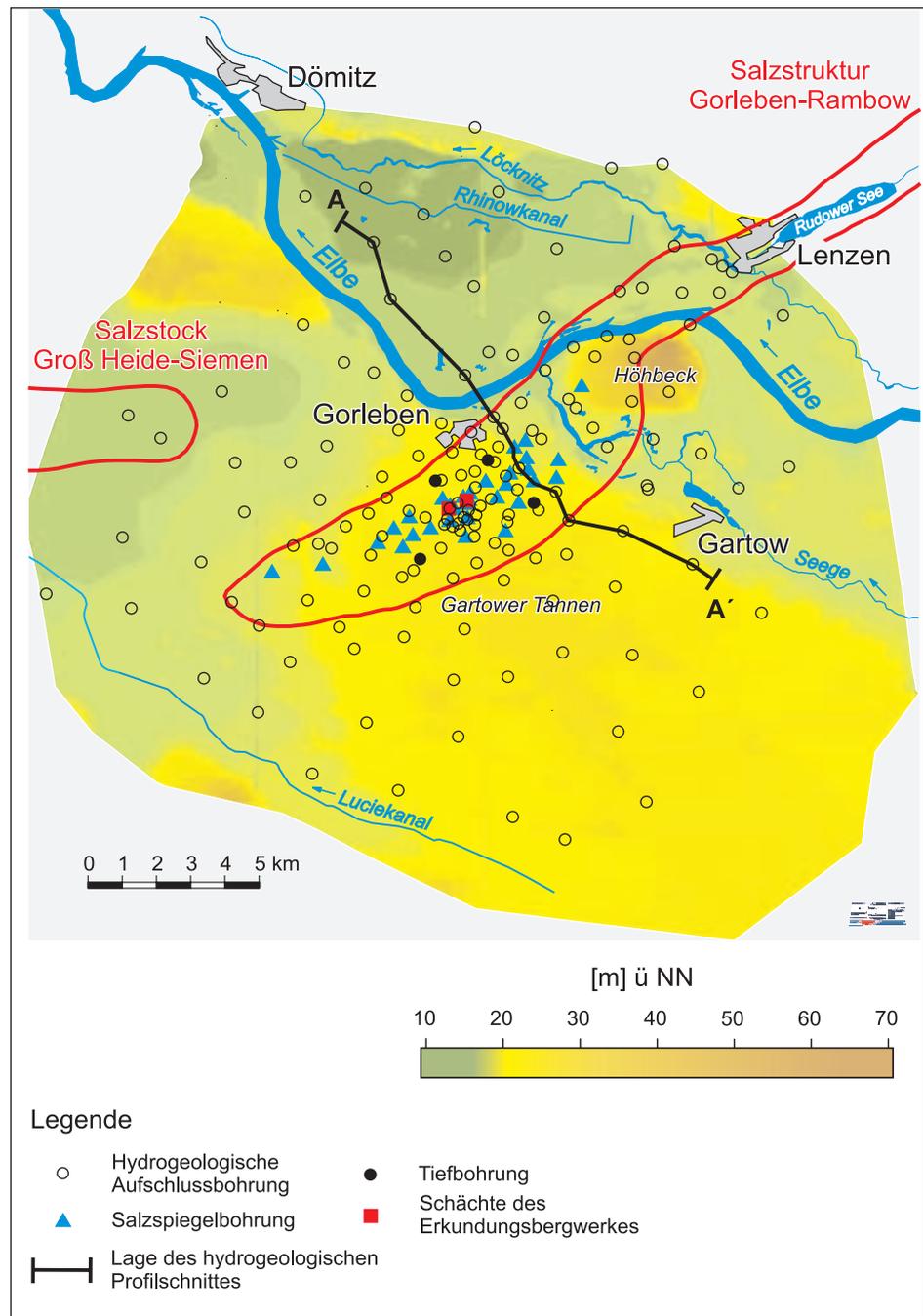
- **Hydrogeologische Untersuchungen**

Ziel dieser Untersuchungen war insbesondere die Beurteilung der Einwirkung von Grundwasser auf den Salzstock und die Gewinnung von Daten zur **Langzeitsicherheitsanalyse**. Hierzu wurden 167 Aufschlussbohrungen mit 200 bis maximal 400 m Länge niedergebracht und in unmittelbarer Nähe dieser Bohrungen jeweils zwei bis vier Grundwassermessstellen in unterschiedlichen Tiefen erstellt. In den insgesamt 398 Grundwasser-

messstellen wurden über einen Zeitraum von mehreren Jahren Messungen der Grundwasserstände vorgenommen und an entnommenen Wasserproben Analysen der Zusammensetzung sowie Isotopenmessungen zur Altersbestimmung durchgeführt.

- **Geophysikalische Untersuchungen**

Zur weiteren Erkundung der Salzstockstruktur und der den Salzstock umgebenden Schichten wurden mit reflexionsseismischen Methoden Profile längs und quer zum Salzstock auf einer Länge von insge-



Erkundungsgebiet Gorleben

samt etwa 150 km aufgenommen. Weiterhin wurden flachseismische Messungen zur Erkundung der Salzstockoberfläche und der quartärzeitlichen Rinnenstrukturen durchgeführt. Die Messprofile hatten eine Gesamtlänge von 312 km.

- **Seismologische Messungen**

Seit 1986 wird die Umgebung des Salzstocks durch ein Messnetz auf lokale Erdbebenerscheinungen kontinuierlich überwacht.

- **Salzspiegelbohrungen**

Mit 44 Bohrungen, die zumeist bis zu 30 m tief in den Salzstock eindringen, wurde der Übergangsbereich zwischen Salzstock und Hutgestein, der Salzspiegel, untersucht. Hier wurden Erkenntnisse über die **Mächtigkeit** und Ausbildung des Hutgesteins und die Subrosionsvorgänge gewonnen.

- **Erkundungs- und Schachtvorbohrungen**

Um das Hauptsalz als potentielles Endlagermedium nicht unnötig zu beeinträchtigen, wurden vier Erkundungsbohrungen bis zu einer **Teufe** von etwa 2000 m in den Flankenbereichen des Salzstocks angesetzt, in denen sowohl die jüngeren als

auch älteren Abfolgen des Salzgesteins zu erwarten waren. Nur die beiden Schachtvorbohrungen mit jeweils etwa 1000 m Teufe wurden zentral angesetzt. Dies war zur Erkundung der geologischen Formationen als Planungsgrundlage für den Schachtbau notwendig.

Die untertägige Erkundung begann im Jahr 1986 mit der Erstellung der Schächte im Gefrierverfahren. Diese Technik wird in der Regel im wasserführenden und nicht standfesten Untergrund angewendet. Das über dem Salzstock liegende Deckgebirge sowie Hutgestein und einige Meter des Salzgesteins wurden durch in Bohrungen zirkulierende Kühlflüssigkeit eingefroren und der Schacht in dem so stabilisierten und abgedichteten Gebirge abgeteuft. Im Schacht 1 traten im Bereich tertiärer Sande in 234 m Teufe unerwartet hohe Gebirgsdrücke auf. Einer der zur Sicherung des Schachtausbaus zusätzlich eingebrachten Stützringe hielt der Belastung nicht stand und führte im Mai 1987 zu einem Unfall, bei dem ein Bergmann ums Leben kam und fünf seiner Kollegen verletzt wurden. Die daraufhin unterbrochenen Teufarbeiten wurden im Januar 1989 fortgesetzt.



Hydrogeologische Aufschlussbohrung



Schächte 1 und 2 des Erkundungsbergwerks Gorleben

Bis September 2000 wurden die beiden Schächte über eine Sohle in 840 m **Teufe** miteinander verbunden und ein Infrastrukturbereich für Werkstätten und Versorgungseinrichtungen aufgefahen. Weiterhin wurde in 840 m Teufe der Erkundungsbereich 1 (EB 1) mit einer Fläche von etwa 300.000 m² geologisch erkundet. Die Streckenlänge im Erkundungsbergwerk beträgt derzeit insgesamt etwa 7 km (Stand Ende 2000).

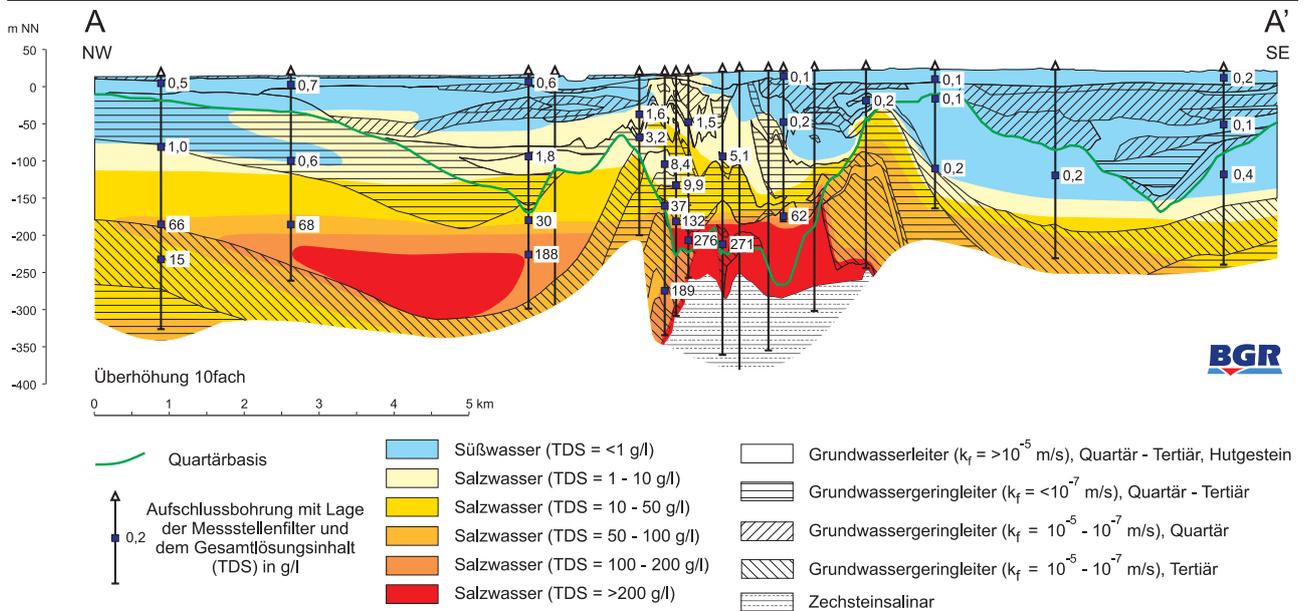
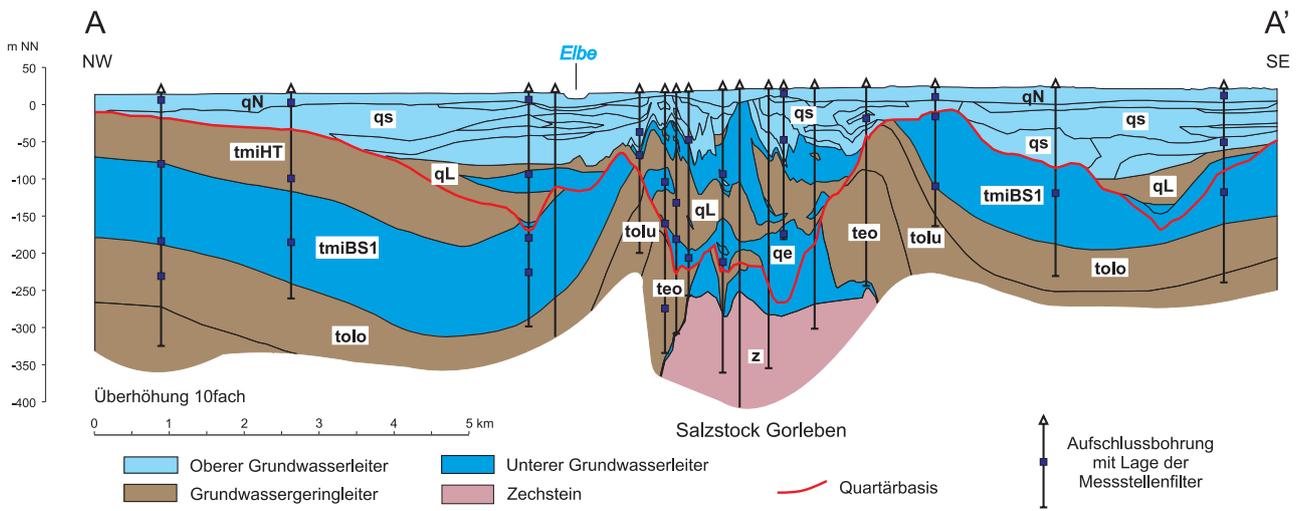
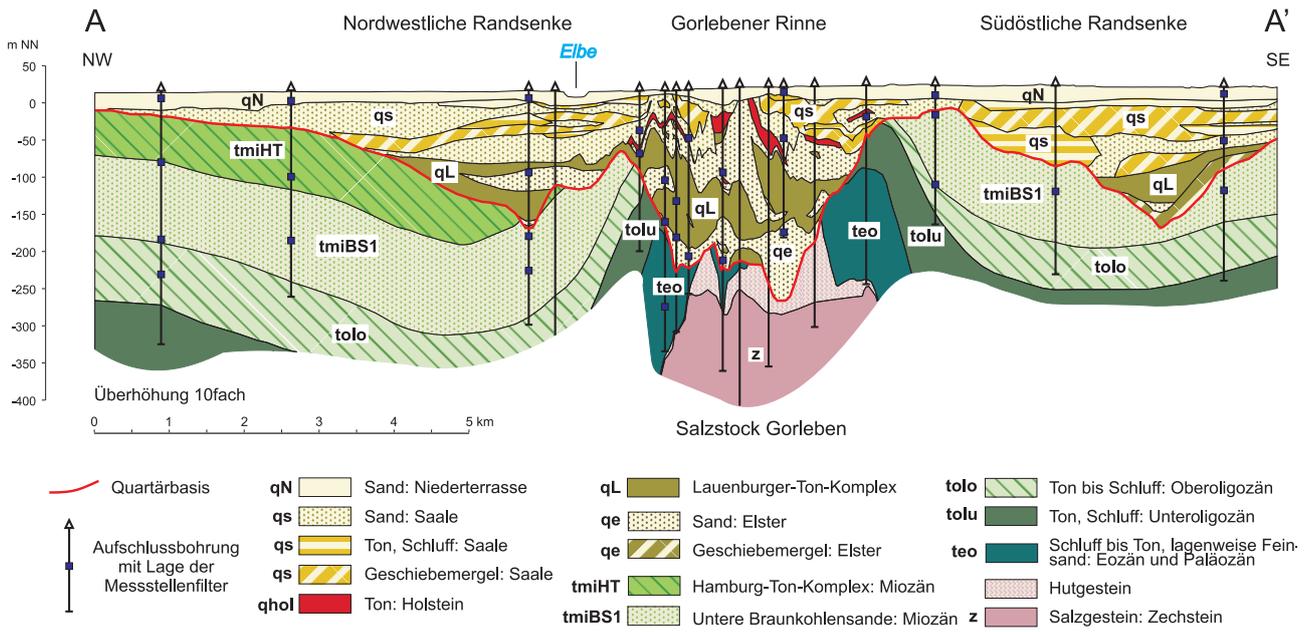
5.3 HYDROGEOLOGIE

Die über dem Salzstock und in dessen Umgebung verbreiteten Schichtenfolgen des Tertiärs und des Quartärs bilden ein bis zu 430 m mächtiges Grundwassersystem, in dem zwischen wasserleitenden Sanden und Kiesen teils in unregelmäßiger, teils in zusammenhängender Form gering wasserleitende Tone und Geschiebemergel eingelagert sind.

Bestimmend für die Grundwasserbewegung über dem Salzstock ist die Gorlebener Rinne, die während der ältesten Vereisungsphase, der Elster-Kaltzeit, entstand. Im Zentrum der Rinne wurden gering durch-

lässige Tertiärtone, die den Salzstock ursprünglich überdeckten, abgetragen. Dadurch lagern heute Sande und Kiese der Elster-Eiszeit unmittelbar auf dem Hutgestein, lokal auch auf Zechsteinsalzen. Wegen der flächigen Verbreitung des Lauenburger Tons in der Rinne besteht zu den darüber liegenden jüngeren wasserleitenden Sedimenten der Saale- und Weichsel-Kaltzeit kein direkter Kontakt (siehe folgende Grafik oben).

Hydrogeologisch lässt sich die über dem Salzstock und in den Randsenken verbreitete Schichtenfolge in ein oberes und ein unteres Hauptgrundwasserstockwerk gliedern, die durch Wassergeringleiter hydraulisch voneinander getrennt sind (siehe folgende Grafik Mitte). Das untere Stockwerk wird in den Randsenken durch Untere Braunkohlensande des Miozäns und in der Gorlebener Rinne durch elsterzeitliche Sande gebildet. Diese Sandbereiche sind im Norden und Süden des Salzstocks hydraulisch miteinander verbunden, so dass sich ein gemeinsames unteres Grundwasserstockwerk ergibt. Die weichsel- und saalezeitlichen Ablagerungen bilden das obere Grundwasserstockwerk. Beide Systeme werden durch Hamburg-Ton und Lauenburger-Ton-Komplex getrennt.



Hydrogeologischer Schnitt durch das Deckgebirge des Salzstocks Gorleben; oben: Schichtenaufbau; Mitte: Oberer und unterer Grundwasserleiter; unten: Durchlässigkeiten und Süß-/Salzwasserverteilung

Die Grundwasserbewegung im Deckgebirge ist geprägt durch das sehr flache Geländere relief im Raum Gorleben. Das oberflächennahe Grundwasser, das bevorzugt auf den sandigen Flächen der **Geest** wie etwa in den Gartower Tannen durch Versickerung eines Teils der Niederschläge gebildet wird, fließt von den Geesthügeln in die umgebenden Senken und Niederungen ab. Dort tritt es in Bächen und Gräben zutage und wird oberirdisch in die Elbe abgeführt.

Die Grundwasserbewegung im unteren Stockwerk wird durch erhöhte Salzgehalte der Wässer beeinflusst. Dies gilt insbesondere für die Gorlebener Rinne, in der es aufgrund des Kontaktes der Rinnensande mit dem Salzstock zu einer starken Aufsalzung der Wässer kommt.

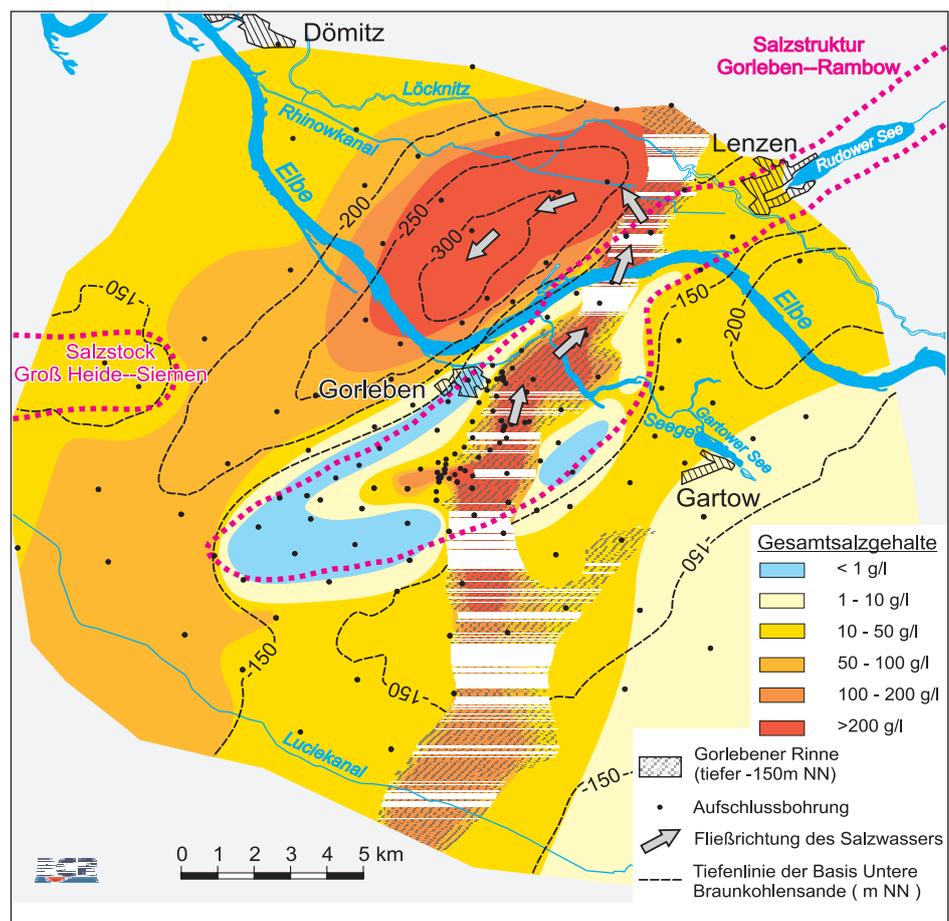
Untersuchungen in Messstellen der Gorlebener Rinne mit hoch versalzten Grundwässern sowie die räumliche Verteilung von Salz- und Süßwässern lassen auf eine nach Norden gerichtete Salzwasserbewegung innerhalb der Rinne schließen.

Die voranstehende Grafik unten zeigt die Süß-/Salzwasser-Verteilung entlang eines Profilschnitts in Nordwest-Südost-Richtung. Unter einem bis zu 160 m mächtigem Süßwasserkörper folgen Salzwässer mit unterschiedlich hohen Salzgehalten. Bedingt durch Salzablaugung weisen die Wässer in der Gorlebener Rinne Salzgehalte von etwa 100 Gramm pro Liter (g/l) bis in den Bereich der Salzsättigung von etwa 320 g/l auf. Auch im Zentrum der nordwestlichen Randsenke treten innerhalb des unteren Grundwasserleiters vergleichbar hohe Salzgehalte auf. Die Porenwässer in den darunter liegenden, gering durchlässigen Sedimenten sind erheblich niedriger salzhaltig.

Die folgende Grafik zeigt die räumliche Verteilung der Salzgehalte des Grundwassers an der Basis des unteren Grundwasserleiters. Die Verbreitung der stark salzhaltigen Wässer ist auf die Gorlebener Rinne und den tief liegenden Bereich der nordwestlichen Randsenkenmulde beschränkt. Die direkte

Verbindung lässt auf einen Salzwassertransport aus der Gorlebener Rinne in die nordwestliche Randsenkenmulde schließen. Die Basis des Wasserleiters in der Randsenkenmulde liegt tiefer als in der Gorlebener Rinne. Salzwässer, die in der Gorlebener Rinne nach Norden transportiert werden, folgen daher nicht dem weiteren Verlauf der Rinne, sondern werden dem Gefälle folgend zum Zentrum der Randsenke abgelenkt, wo sie sich auf Grund ihrer erhöhten Dichte am Boden des Grundwasserleiters sammeln. Da in diesem Bereich der untere Grundwasserleiter von gering durchlässigen Tonen überlagert wird, kommt es zu keinem nennenswerten Salzwasseraufstieg in das oberflächennahe Grundwasser.

Altersbestimmungen an den Salzwässern zeigen, dass sie überwiegend ein eiszeitliches Alter aufweisen. Nur in der Gorlebener Rinne wurden einzelne Salzwässer mit eindeutig nacheiszeitlicher Entstehung oder auch Mischwässer beider Wassertypen nachgewiesen. Dies belegt einerseits, dass die heutige Grundwasserbewegung auch das tiefe Salzwasser der Gorlebener Rinne erfasst. Die Tatsache, dass 10.000 Jahre nach dem Ende der Eiszeit der überwiegende Anteil der Salzwässer nach wie vor eiszeitlich geprägt ist, zeigt andererseits, dass die Grundwasser-



Verteilung Salzgehalte

bewegung im salzwassererfüllten Grundwasserleiter der Gorlebener Rinne wesentlich langsamer erfolgt, als dies unter Süßwasserbedingungen der Fall wäre.

Bei der Erkundung im Bereich der Gorlebener Rinne konnte weiterhin eine lokal begrenzte Salzwasserhochlage über der Rinne nachgewiesen werden. Diese Hochlage erstreckt sich am nordwestlichen Rand der Rinne in Nord-Süd-Richtung bis an die Elbe, wo sie die Grundwasseroberfläche erreicht. Diese Erkundungsergebnisse werden dahingehend interpretiert, dass am Rand der Gorlebener Rinne eine lokal begrenzte Lücke innerhalb des Lauenburger Tons existiert. Über diese gelangen Salzwässer aus dem tiefen Rinnenbereich in den oberen Grundwasserleiter und breiten sich zur Elbeniederung hin aus, in der sie in stark – etwa 100-fach – verdünnter Form an die Grundwasseroberfläche gelangen.

Die nachfolgende Grafik fasst die wichtigsten Ergebnisse in Hinblick auf die langfristige Salzwasserausbreitung aus der Gorlebener Rinne in einem schematischen Profilschnitt zusammen, der durch die Gorlebener Rinne bis in die nordwestliche Randsenke verläuft: Die in der Rinne durch Salzablaugung überwiegend im Verlaufe der Eiszeit gebildeten Salzwässer werden zum einen in die nordwestlich des Salzstocks gelegene Randsenke transportiert, in der sie sich sammeln. Zum anderen strömen Salzwässer über eine lokal begrenzte Zone erhöhter Durchlässigkeit

keit in den oberen Grundwasserleiter und gelangen im Elbetal in stark verdünnter Form an die Grundwasseroberfläche.

5.4 GEOLOGIE DES SALZSTOCKS

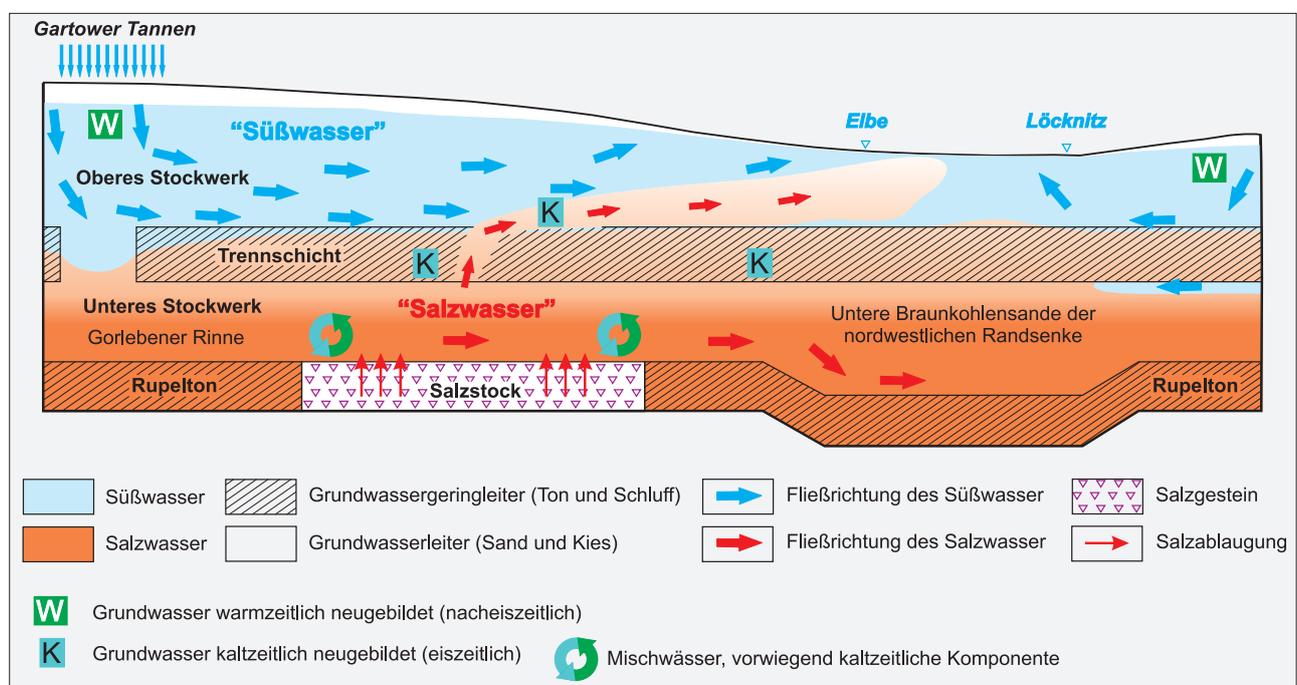
Die Grafik auf der folgenden Seite (oben) zeigt einen Schnitt durch den Salzstock im Bereich des Schacht 1 in Nordwest-Südost-Richtung. Ein Vergleich mit der Grafik auf Seite 52 unten mit Stand von 1987 macht den Erkenntnisgewinn durch die untertägige Erkundung deutlich. Eine Aufsicht auf die 840 m-Sohle mit Infrastruktur- und Erkundungsbereich 1 zeigt die geologische Karte auf der Seite 53. Im Folgenden werden die wesentlichen Ergebnisse der Erkundung des Salzstocks zusammengefasst.

Selektive Subrosion des Kaliflözes Staßfurt

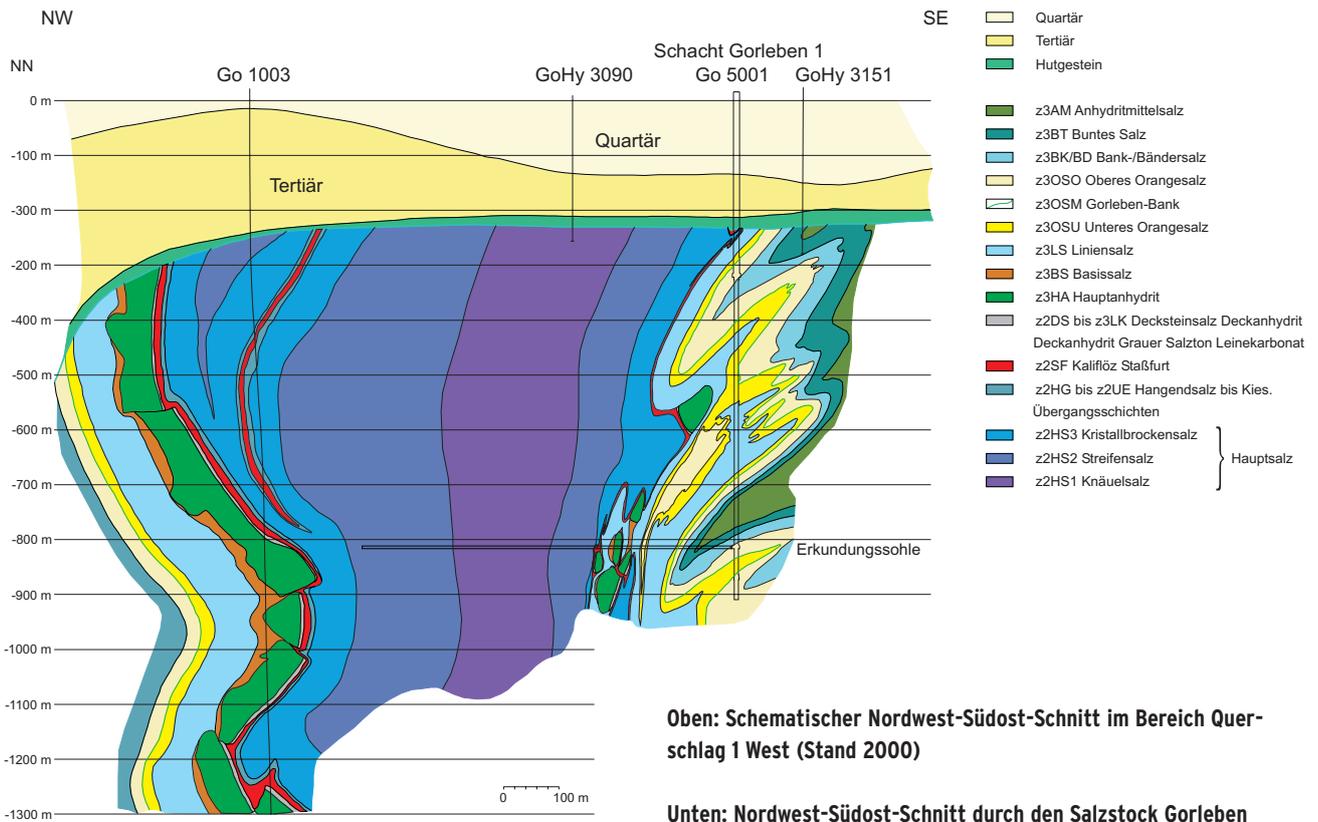
Im Bereich der leichtlöslichen Kalisalze der Staßfurt-Folge konnte durch Bohrungen eine Zone lokaler Auflösung (selektive Subrosion) nachgewiesen werden. Die Auswertungen dieser Bohrungen zeigen, dass die kalium- und magnesiumhaltigen Minerale des Kaliflöz bis in eine Tiefe von etwa 90 bis 130 m unterhalb des Salzspiegels vollständig abgelaugt sind. Die untere Grenze der Einwirkung von Grundwasser auf das Kaliflöz liegt bei 140 bis 170 m unterhalb des Salzspiegels.

Süden

Norden

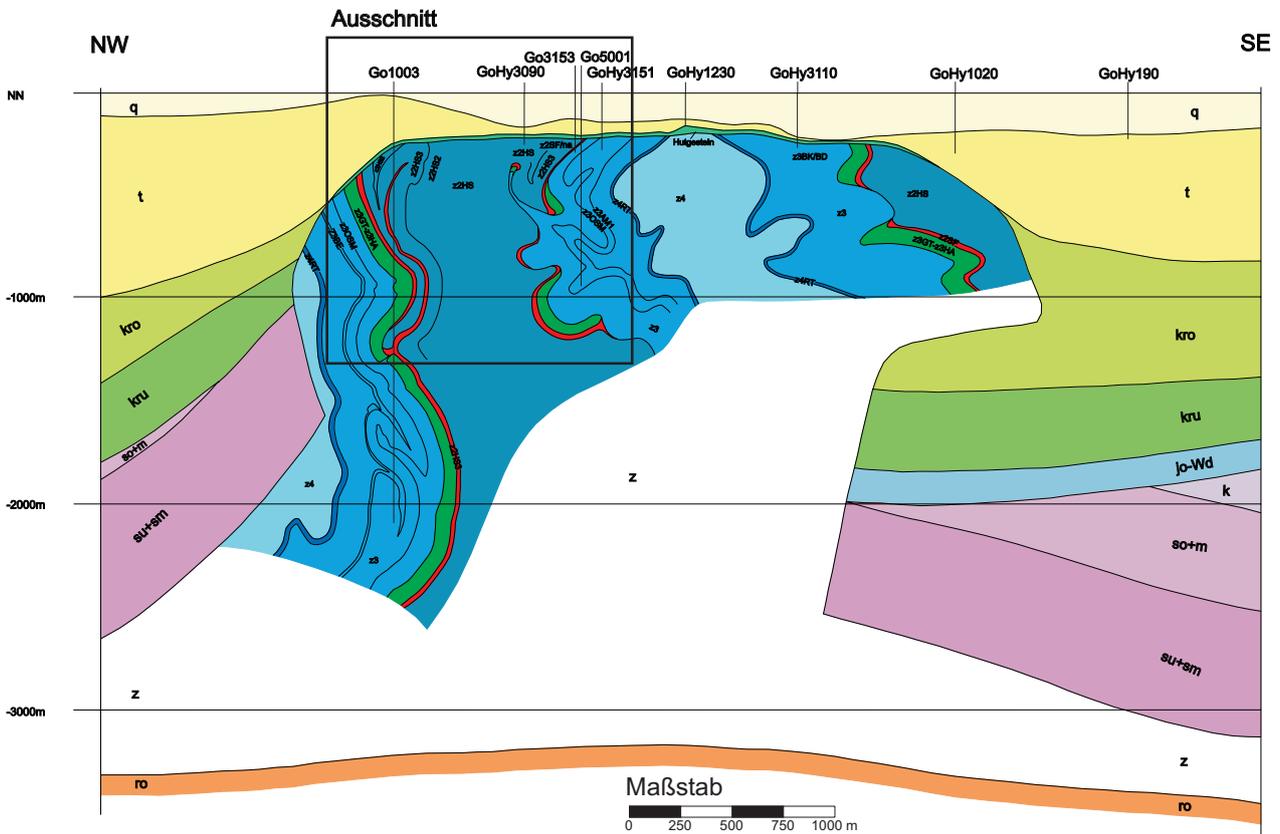


Modell des Deckgebirges von Gorleben

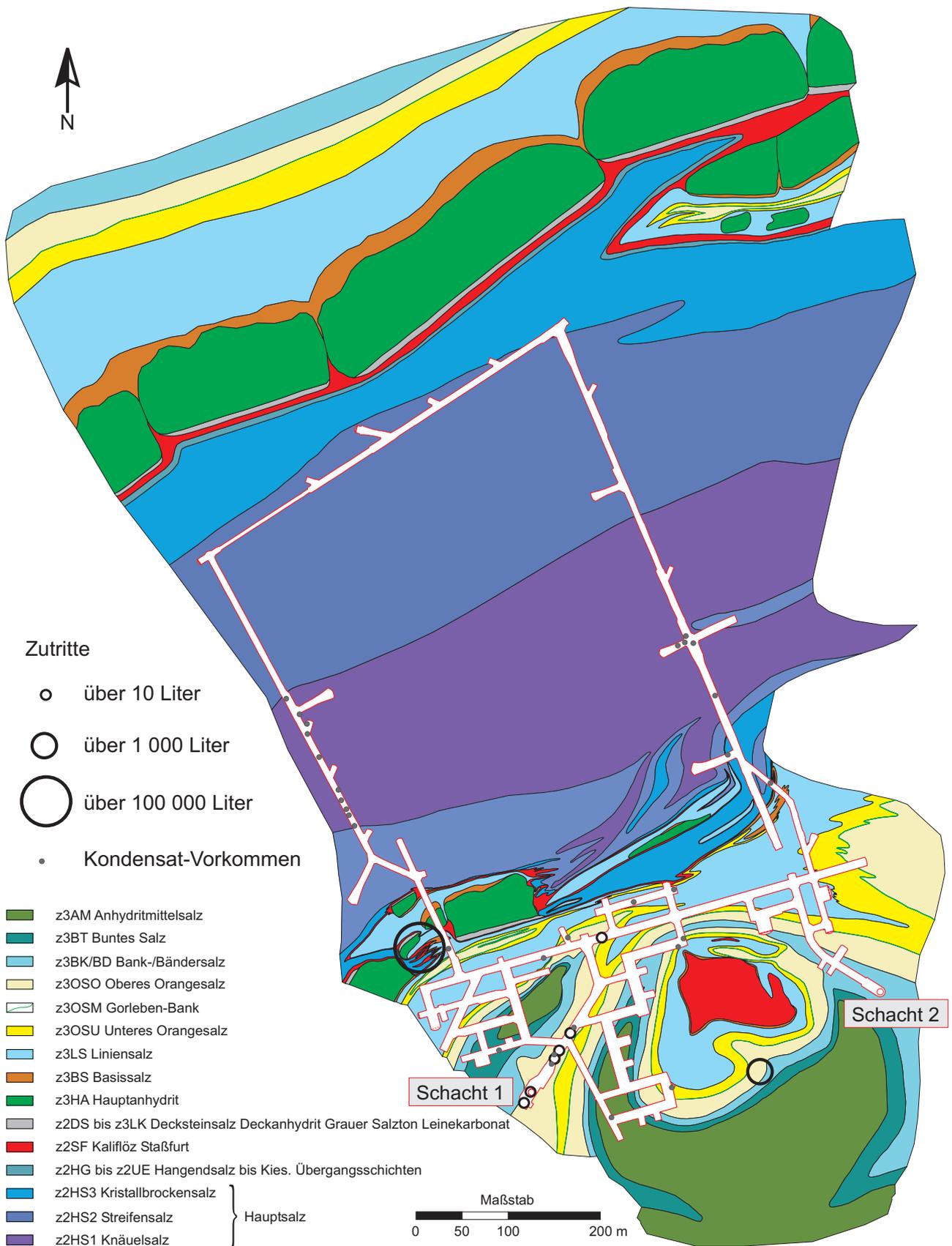


Oben: Schematischer Nordwest-Südost-Schnitt im Bereich Quer-schlag 1 West (Stand 2000)

Unten: Nordwest-Südost-Schnitt durch den Salzstock Gorleben (Stand 1987) mit Ausschnittslage des Profils der darüber liegenden Grafik.



- | | | |
|-----------------------------------|---|---------------------|
| q Quartär | k Keuper | z3 Leine-Folge |
| t Tertiär | so + m Oberer Bundsandstein und Muschelkalk | z2 Staßfurt-Folge |
| kro Oberkreide | su + sm Unterer und Mittlerer Bundsandstein | ro Oberrotliegendes |
| kru Unterkreide | z Zechstein | |
| jo bis Wd Oberer Jura bis Wealden | z4 Aller-Folge | |



Geologischer Sohlenriss der 840-m-Sohle des Erkundungsbergwerks mit Zutritten über 10 Liter Gesamtzutritt

Eine Gefährdung eines potenziellen Endlagers durch die übertiefte selektive Subrosion des Kaliflözes Staßfurt ist nicht möglich, da diese nur in überkippter Lagerung der Schichten im oberen Flankenbereich des Salzstocks erfolgen kann. Ausschließlich bei dieser Lagerung ist die direkte Einwirkung von Deckgebirgswässern auf das Kaliflöz möglich. Bei normaler Lagerung ist das Kaliflöz durch Salztone abgedeckt und gegen Ablaugung geschützt. Die entsprechenden Bereiche werden wegen des strukturellen Baus der Schichten weder durch Erkundungsstrecken noch durch das ggf. später aufzufahrende Endlager unterfahren.

Vorkommen von Salzlösungen, Gasen und Kohlenwasserstoffen im Salzstock

Wie die Erkundung durch Bohrungen und Streckenauffahrungen im Infrastrukturbereich und im Erkundungsbereich 1 (EB 1) belegt, sind Lösungen und Gase nicht beziehungslos im Salzstock verteilt (siehe Grafik Seite 53). Ihr Auftreten ist an bestimmte Speichermedien gebunden:

- an Kluftspeicher in Anhydritgesteinen oder Tonsteinen,
- an durch sekundäres Steinsalz verheilten Störungs- oder Kluftzonen im Grenzbereich z2/z3 oder
- an das ausgedünnte Kaliflöz Staßfurt im Grenzbereich z2/z3.

Auf der Grundlage der bisherigen Erkundung kann davon ausgegangen werden, dass der Hauptanhydrit und das sekundäre Steinsalz in Kluft- oder Störungszonen die größten Zuflüsse aufweisen können (bis 100 Kubikmeter [m³] und mehr). Alle anderen Lösungsvorkommen werden in der Größenordnung von wenigen Litern bis maximal wenigen Kubikmetern liegen.

Im Erkundungsbereich 1 ist ein größerer Lösungszutritt in der normalen Abfolge des Hauptsalzes der Staßfurt-Folge (z2) nicht festgestellt worden. Während der Salzstockbildung wurde das Hauptsalz derart durchbewegt, dass es heute in seinem Erscheinungsbild als „halokinetische Brekzie“ vorliegt. Die ehemals im Hauptsalz enthaltenen Lösungen wurden infolge der Durchbewegung zum Salzspiegel hin abgepresst oder sind heute teilweise noch im Hauptanhydrit, der einen Kluftspeicher darstellt, anzutreffen.

Beim Auffahren der Querschnitte im Erkundungsbereich 1 kam es zu geringen Zutritten von Kohlenwasserstoffen (Kondensat). Diese waren nahezu ausschließlich auf den Bereich des ältesten Hauptsalzes, das Knäuelsalz, beschränkt.

Die bis jetzt durchgeführten isotopengeochemischen Untersuchungen zeigen, dass die Kondensat-Vorkommen die gleiche **geochemische Signatur** aufweisen wie alle anderen im Salzstock Gorleben vorkommenden Kohlenwasserstoffe. Diese sind unter anderem in durch Steinsalz verheilten Kluftzonen und im Hauptanhydrit zu finden. Gemeinsame Quelle ist der aus Karbonat- und Tongesteinen bestehende **Stinkschiefer** der Staßfurt-Folge, der auf Grund der Sedimentationsbedingungen organische Stoffe enthält. Zur Frage des Migrationweges der Kondensate in das Knäuelsalz im Gefolge der Salzstockbildung ist folgendes Denkmodell möglich:

- Während der Deformationen zu Beginn der Salzkissenbildung migrierten die Kondensate aus dem unter dem Hauptsalz liegenden Stinkschiefer in die noch flach gelagerten, als Liniensalz sedimentierten ältesten Schichten des Hauptsalzes. Wegsamkeiten für die Kondensate wurden durch das Zerbrechen der Steinsalzkristallbänke, der feinkristallinen Steinsalzzwischenlagen und der Anhydritlinien geschaffen. Beim Verheilen der Bruchstrukturen erfolgte ein interkristalliner Einbau der Kondensate in die feinkristalline Steinsalmatrix und ein intrakristalliner Einbau in die sekundär „verheilten“ Bereiche der Matrix.
- Beim weiteren Salzaufstieg und Bildung des Salzstocks kam es insbesondere im Knäuelsalz zur Homogenisierung der Schichten, die heute keinen sedimentären Verband mehr erkennen lassen (Brekzie). Die Kondensate wurden dabei immer wieder mobilisiert und durch das Wiederverheilen erneut in zufälliger Verteilung in das umgebende Steinsalz eingebunden.
- Das nahezu ausschließliche Vorkommen der Kondensate im Knäuelsalz lässt sich vermutlich dadurch begründen, dass das ursprünglich darüber liegende Streifen- und Kristallbrockensalz zwar ebenfalls brekziert ist, jedoch oftmals der sedimentäre Verband noch rudimentär erkennbar ist, wodurch die **Migration** der Kondensate in diese Schichten wegen der geringeren Deformation nicht möglich war.

Hauptanhydritschollen

Der Hauptanhydrit gilt wegen der verbreiteten Kluftbildung als potenzieller Lösungsbringer. Auf der Nord- und Südflanke des Salzstocks konnte durch Bohrungen, Druckaufbautests und **EMR-Messungen** der Nachweis erbracht werden, dass eine Zerkleinerung und damit eine Isolierung der einzelnen Hauptanhydritschollen vorliegt. Für die nördliche und südliche Grenze des Hauptsalzes im Erkundungsbereich 1 konnte damit das Szenario „durchgehender Hauptanhydrit vom Salzspiegel bis zum Erkundungs-

bereich und somit potentieller Lösungsbringer“ ausgeschlossen werden.

Nachgewiesene Verbreitung des Hauptsalzes

Zur Abschätzung der Verbreitung des Hauptsalzes als potentielles Einlagerungsmedium im Erkundungsbereich 1 (EB 1) wurden die **Austriche** auf der 840 m-Sohle und 150 m darunter bestimmt. Die resultierenden Verbreitungsflächen des Hauptsalzes sind:

Tab. 1: Größe der Verbreitungsfläche des Hauptsalzes im Erkundungsbereich 1

Bereich	ohne Sicherheitspfeiler	10 m Sicherheitspfeiler	50 m Sicherheitspfeiler
840 m-Sohle	370.700 m ²	357.700 m ²	305.700 m ²
150 m unter 840 m-Sohle	390.900 m ²	377.800 m ²	325.700 m ²

Geochemische Charakterisierung der Salzgesteine des Zechstein 2 und 3

Bei der Bildung der Salzstruktur durch Eindunstung von Meerwasser wurde das neben Chlor vorhandene Brom nicht in eigenständigen Mineralien abgeschieden, sondern wurde zu einem bestimmten Anteil in

die chloridischen Minerale eingebaut. Während der fortschreitenden Eindunstung nahm der Bromidgehalt in der Lösung und damit auch im abgeschiedenen Chloridmineral zu. Der Bromgehalt des Steinsalzes ist damit ein Maß für den jeweiligen Eindunstungsgrad und ein wichtiger Parameter zur Charakterisierung der Salzgesteine.

Durch die gezielte engständige Probennahme konnte mit Hilfe von Bromgehalten nachgewiesen werden, dass das Hauptsalzgefüge einer salztektonischen Brekzie entspricht. Trotz der bereichsweise intensiven salztektonischen Deformation ist der jeweilige primär-sedimentäre Brom-Kurventrend einer progressiv fortschreitenden Eindunstung erhalten geblieben. Hieraus kann das Einwirken von Fremdlösungen bei der Salzstockbildung ausgeschlossen werden. Die aufgestellten Brom-Profile stammen aus verschiedenen Baueinheiten des Salzstocks Gorleben, wodurch die Ergebnisse der Brom-Verteilungen auf den gesamten Salzstockbereich übertragbar sind. Weiterhin eröffnen die Brom-Standardprofile sowohl die Möglichkeit einer Brom-Stratigraphie der Schichtfolgen als auch die strukturelle Differenzierung von Schichtpaketen, die aufgrund der salztektonischen Deformation durch die geologische Kartierung nicht identifiziert werden kann. Sie stellen damit ein wertvolles Instrument zur detaillierten Untersuchung des Salzstocks dar.

6 GLOSSAR

Aktivität

Die Aktivität eines radioaktiven Stoffes ist die Anzahl der pro Zeiteinheit auftretenden Kernumwandlungen. Die Maßeinheit der Aktivität ist das Becquerel (Bq). Es gibt an, wie viel Kernzerfälle pro Sekunde stattfinden.

Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AkEnd)

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) hatte im Februar 1999 den Arbeitskreis Endlagerstandorte eingerichtet. Er war ein fachlich-wissenschaftliches Gremium, das im Rahmen der gesteckten Ziele unabhängig und frei von Vorgaben und Weisungen arbeitete. Der Arbeitskreis hatte den Auftrag, ein nachvollziehbares Verfahren für die Auswahl von Standorten zur Endlagerung aller Arten radioaktiver Abfälle in Deutschland zu entwickeln. Das Verfahren sollte die Beteiligung der Öffentlichkeit in geeigneter Form vorsehen und fundierte Kriterien beinhalten. Weitere Informationen sind unter www.akend.de zu finden.

Ausstrich

Ebener Schnitt eines Gesteinskörpers, dieser zeigt in der Regel lediglich die scheinbare **Mächtigkeit** von Schichten. Die wahre Mächtigkeit (Schichtdicke) ergibt sich aus dem Schnitt senkrecht zur Schichtebene.

Bewetterung

Planmäßige Versorgung der Grubenbaue mit frischer Luft.

Brennelement

Aus einer Vielzahl von Brennstäben montierte Anordnung, in der der Kernbrennstoff in den Kernreaktor eingesetzt wird.

bestrahlte/abgebrannte Brennelemente

Sobald Brennelemente in einem Reaktor an dem Kernspaltungsprozess beteiligt waren, enthalten sie **Radionuklide**, die – im Vergleich zu frischen Brennelementen – zu einer hohen Strahlung führen. Sie werden deshalb als bestrahlte Brennelemente bezeichnet. Diese Brennelemente verbleiben in der Regel so lange im Reaktor, bis sie keinen wirtschaftlichen Beitrag mehr zur Energieerzeugung liefern. Diese im allgemeinen Sprachgebrauch auch als abgebrannt bezeichneten Brennelemente werden dann gegen frische Brennelemente ausgetauscht. Das Atomgesetz verwendet nur die Begriffe „Brennelemente“ und „bestrahlte Brennelemente“.

Brennstoffkreislauf

Ursprünglich wurde davon ausgegangen, dass die Brennstoffver- und -entsorgung in einem nahezu geschlossenen Kreislauf stattfinden könnte. Das in üblichen Leichtwasserreaktoren entstehende Plutonium sollte in **Schnellen Brütern** vermehrt werden. In einem Brennstoffkreislauf zwischen üblichen Leichtwasserreaktoren und Schnellen Brütern auf der einen Seite und Wiederaufarbeitungsanlage auf der anderen Seite sollte so nach optimistischen Abschätzungen die Ausnutzung des eingesetzten Urans bis um den Faktor 60 höher sein als beim einmaligen Einsatz in normalen Atomkraftwerken. Nach Scheitern des Brüterprojekts in Deutschland blieb die Wiederaufarbeitung **bestrahlter Brennelemente** im Ausland. Diese **Wiederaufarbeitung** vermindert den Uranverbrauch nur in geringem Maß, so dass hierdurch der ursprünglich geplante Kernbrennstoffkreislauf nicht realisiert wurde. Aus technischen Gründen können Brennelemente, die bereits wiederaufbereiteten Kernbrennstoff enthalten, nicht noch einmal einem Wiederaufarbeitungsprozess unterzogen werden. Seit Juli 2005 ist der Transport bestrahlter Brennelemente zur Wiederaufarbeitung nicht mehr zugelassen, aufgearbeitet werden nur noch die bestrahlten Brennelemente, die sich bereits in Wiederaufarbeitungsanlagen befinden.

Bundesweisung

Die Länder führen einige Bundesgesetze – z. B. das Atomgesetz – im Auftrag des Bundes aus (Bundesauftragsverwaltung GG Art 85). Die Wahrnehmungskompetenz liegt somit bei den Ländern. Die Bundesaufsicht erstreckt sich auf Gesetzmäßigkeit und Zweckmäßigkeit der Ausführung. Bei unterschiedlicher Sachbeurteilung und -entscheidung kann der Bund das Land mit einer Bundesweisung zu einer Entscheidung anweisen. Dabei kann der Bund die Sachkompetenz für die Sachbeurteilung und Sachentscheidung nach eigener Entscheidung an sich ziehen. Die Verantwortung für die nach Weisung getroffenen Sachentscheidungen liegt beim Bund.

Denudation

Flächenhafte Abtragung der Erdoberfläche z. B. durch Wasser und Wind.

Dosis

Die Dosis ist ein Maß für die Strahlenwirkung.

Energiedosis: Sie beschreibt die Energie, die einem Volumenelement beliebiger Materie mit einer bestimmten Masse durch ionisierende Strahlung

zugeführt wird, dividiert durch diese Masse. Die Maßeinheit ist das Gray (Gy).

Äquivalentdosis: Die Äquivalentdosis berücksichtigt die unterschiedliche biologische Wirksamkeit der verschiedenen Arten ionisierender Strahlung. Die Äquivalentdosis ist das Produkt aus der Energiedosis im Gewebe und einem Bewertungsfaktor. Die Einheit ist das Sievert (Sv).

Effektive Dosis: Die effektive Dosis berücksichtigt die unterschiedlichen Empfindlichkeit der Organe und Gewebe bezüglich der stochastischen Strahlenwirkung. Sie ist das Produkt aus der Äquivalentdosis und einem Bewertungsfaktor (Gewebe-Wichtungsfaktor). Die effektive Dosis erhält man durch Summation der gewichteten Äquivalentdosen der einzelnen bestrahlten Organe und Gewebe. Die Wichtungsfaktoren berücksichtigen die unterschiedliche Strahlenempfindlichkeit der Organe und Gewebe. Die Einheit ist das Sievert (Sv).

Durchlässigkeitsbeiwert

Der Durchlässigkeitsbeiwert ist ein Maß für die Wasserdurchlässigkeit eines Gesteins. Er ist abhängig von den physikalischen Eigenschaften des Wassers (z. B. Viskosität, Dichte) und den Eigenschaften des Gesteins (z. B. Poren, offene Klüfte). Die Maßeinheit ist Meter pro Sekunde (m/s). Für die Strömungsgeschwindigkeit in einem Gestein bei laminarer Strömung gilt das *Darcysche Gesetz* $v = k \cdot \nabla h / \nabla l$ mit v (Strömungsgeschwindigkeit in m/s), k (Durchlässigkeitsbeiwert in m/s), ∇h (Differenz der Standrohrspiegelhöhen in m) und ∇l (Abstand in Fließrichtung in m). Z. B. kommt es in einem Gestein mit einem Durchlässigkeitsbeiwert von 10^{-10} m/s bei einem Wasserstandsunterschied von 1 m im Abstand von 100 m zu einer Strömungsgeschwindigkeit von 10^{-12} m/s. Das Wasser benötigt zum Zurücklegen der Strecke von 100 m etwa 3 Millionen Jahre. Folgende Durchlässigkeitsbereiche werden definiert (DIN 18 130): Durchlässigkeitsbeiwert in m/s; sehr schwach durchlässig: unter 10^{-8} , schwach durchlässig: 10^{-8} bis 10^{-6} , durchlässig: über 10^{-6} bis 10^{-4} , stark durchlässig: über 10^{-4} bis 10^{-2} , sehr stark durchlässig: über 10^{-2} .

EMR-Messung

Mit elektromagnetischen Reflexionsmessungen werden Materialwechsel im Gebirge mit elektromagnetischen Wellen nach dem Radarprinzip aufgespürt und die Raumlage bestimmt.

epirogen

Großräumige tektonische Vorgänge innerhalb der Erdkruste, die über lange geologische Zeiten andauern und die Gesteinsgefüge intakt lassen.

EURATOM

Abkürzung für Europäische Atomgemeinschaft, vertraglicher Zusammenschluss der EU-Mitgliedsländer vom 25. März 1957 zum Zweck der Förderung der friedlichen Nutzung der Kernenergie und der Bildung und Entwicklung von Kernindustrien; Sitz Brüssel

Geest

Landschaftstyp in Nordwestdeutschland und Schleswig-Holstein, der die höher gelegenen, sandigen und weniger fruchtbaren Altmoränengebiete umfasst.

geochemische Signatur

Kennzeichen auf Grund der vorhandenen chemischen Bestandteile und deren Mengenverhältnisse zueinander.

Halbwertszeit

Zeitintervall, in dem die Aktivität eines radioaktiven Stoffes um die Hälfte abnimmt.

halokinetische Brekzie

Beim Salzstockaufstieg zerbrochene und wieder verfestigte Salzminerale, die sich durch kantige Strukturen auszeichnen.

HAW-Kokillen

Bei der Wiederaufarbeitung bestrahlter Brennelemente werden die hochradioaktiven Rückstände (High Active Waste) verglast und in Formen gegossen. Produkt sind die HAW-Kokillen.

Kohlenwasserstoffe

Gruppe von organischen Verbindungen aus Kohlenstoff und Wasserstoff, die im Erdöl und in Steinkohlenteer vorkommen. Man unterscheidet gesättigte Kohlenwasserstoffe, bei denen alle Bindungen zwischen benachbarten Kohlenstoffatomen Einfachbindungen sind, von ungesättigten, bei denen eine oder mehrere Doppel- oder Dreifachbindungen vorkommen. KW-Stoffe sind die Stammkörper der organischen Chemie. Kohlenwasserstoffe sind technisch als Kraftstoffe von Bedeutung (Erdgas, Propan, Benzin, Benzol).

Konvergenz

Natürlicher Prozess der Volumenreduzierung von untertägigen Hohlräumen infolge Verformung beziehungsweise Auflockerung auf Grund des Gebirgsdrucks.

Landessammelstelle

Landessammelstellen sind die Zwischenlager der Bundesländer, die für die radioaktiven Abfälle aus den Bereichen Medizin, Technik und Forschung ein-

gerichtet wurden. Sie nehmen keine Abfälle aus dem Bereich der Energieerzeugung und Wiederaufarbeitung an.

Langzeitsicherheit

Die Langzeitsicherheit eines Endlagers ist im Rahmen des **Planfeststellungsverfahrens** nachzuweisen. Es muss sichergestellt sein, dass die eingelagerten radioaktiven Abfälle über den erforderlichen Zeitraum bis zum Abklingen der Radioaktivität nicht in die Biosphäre gelangen und damit nicht zu einer inakzeptablen Strahlenbelastung führen. Bei den bisherigen Endlagerprojekten in Deutschland wurden auf der Grundlage von gemeinsamen Empfehlungen der RSK und SSK aus den Jahren 1983 und 1988 im Wesentlichen die Dosisgrenzwerte des § 47 der Strahlenschutzverordnung und ein Betrachtungszeitraum von 10.000 Jahre herangezogen.

Mächtigkeit

Die Mächtigkeit einer Gesteinsschicht ist deren Schichtdicke. Ein ebener Schnitt eines Gesteinskörpers (**Austrich**) zeigt in der Regel lediglich die scheinbare Mächtigkeit von Schichten. Die wahre Mächtigkeit ergibt sich aus dem Schnitt senkrecht zur Schichtebene.

Migration

Bewegung von z. B. Wasser, Lösungen, Öl, Kohlenwasserstoffen, Gasen usw. in Gesteinen und Gesteinsschichten.

Münder-Mergel-Salinar

Salzgestein im tiefen geologischen Untergrund von Nordwestdeutschland, abgelagert im jüngsten Teil des Jura (vor etwa 140 Millionen Jahren).

Planfeststellungsverfahren nach § 9b Atomgesetz

In § 9 b Atomgesetz ist festgelegt, dass die Errichtung und der Betrieb von Endlagern für radioaktive Abfälle der Planfeststellung bedürfen. Dazu gehört insbesondere die Umweltverträglichkeitsprüfung und die Beteiligung der Öffentlichkeit. Ergebnis ist der Planfeststellungsbeschluss, mit dem die Unzulässigkeit oder Zulässigkeit eines solchen Vorhabens unter Einschluss aller sonst erforderlichen Genehmigungen, Erlaubnisse usw. (Ausnahme: Bergrecht) festgestellt wird.

Radionuklid

Ein Radionuklid ist ein instabiles Nuklid, das spontan ohne äußere Einwirkung unter Aussendung von Strahlung zerfällt. Zurzeit sind über 2.770 verschiedene Nuklide der 112 bekannten Elemente nachgewiesen. Von diesen Nukliden sind über 2.510 Nuklide instabil und damit radioaktiv.

Restrisiko

Restrisiko ist das trotz technischer Vorsorge verbleibende Risiko des Versagens einer technischen Anlage. Das Restrisiko besteht in unvorhersehbaren Störfällen, Kombination von unglücklichen Umständen, die zu Störfällen führen, und im menschlichen Fehlverhalten. Zu gesellschaftlichen Konflikten über das Restrisiko kommt es bei Versagen von Anlagen mit ungeheuer großen Auswirkungen, wie Atomkraftwerk u. ä.

Salzkaverne

Hohlraum in einer Salzformation, der durch gezielte Auslaugung mit Wasser erzeugt wird.

Schneller Brüter

Reaktor, bei dem schnelle, nicht abgebremste Neutronen zur Kernspaltung genutzt werden. Als Brennstoff wird Plutonium eingesetzt, das im Reaktor auch selbst aus dem in Leichtwasserreaktoren nicht nutzbaren Uran-238 entsteht. Die Bezeichnung „Brüter“ stammt daher, dass ein Brutreaktor theoretisch mehr Plutonium erzeugen kann als eingesetzt wird. Dadurch kann die Brennstoffausbeute gegenüber Leichtwasserreaktoren erhöht werden. Dies gilt aber nur dann, wenn gleichzeitig die risikoreiche **Wiederaufarbeitung** durchgeführt wird.

Schüttung

Die Wassermenge, die eine Quelle innerhalb einer bestimmten Zeit schüttet.

Sicherheitspfeiler

Vorgegebener Sicherheitsabstand zu potenziell Gas oder Lösung führenden Schichten im Salzstock.

Stinkschiefer

Bitumenhaltiger Schiefer, der bei der Bearbeitung unangenehme Gerüche freisetzt.

Stratigraphie

Räumliche Abfolge von Gesteinsschichten, die Rückschlüsse auf die zeitliche Entstehung zulässt.

Tektonik

Lehre vom Bau der Erdkruste und der Bewegung der einzelnen Krustenteile.

Teufe

Tiefe, gemessen ab Geländeoberkante und nicht dem Niveau des Meeresspiegels.

Toxizität

Giftigkeit, gesundheitsschädigende Wirkung;

- *chemische Toxizität*

bezogen auf chemische Substanzen und physikalische Faktoren. Toxizität ist grundsätzlich eine Frage der Dosis. Angegeben wird die Toxizität (meist in mg) bezogen auf das Körpergewicht oder die Körperoberfläche. Eine reversible oder irreversible schädigende Wirkung kann unmittelbar erfolgen (akute Toxizität) oder erst nach längerfristiger Exposition oder Aufnahme des Stoffes manifest werden (chronische Toxizität). Die quantitative Schädigung wird im Biotest unter standardisierten Bedingungen ermittelt und mit statistischen Methoden ausgewertet (Toxizitätsmessung). Zur chronischen Toxizität werden auch keimschädigende, erbgutverändernde und kanzerogene Wirkungen gerechnet.

- *Radiotoxizität*

Die relative Gefährdung des Menschen bei Aufnahme von Radionukliden in den Körper; nicht zu verwechseln mit der chemischen Toxizität des betreffenden Elements oder Moleküls. Entsprechend ihrer relativen Toxizität werden die Radionuklide in vier Gefahrenklassen eingeordnet. Sehr hohe Radiotoxizität besitzt Ra226 und seine Folgeprodukte und Pu239, da sie langlebige Alphastrahler sind, die sich in den Knochen ablagern und, verglichen mit der Lebensdauer des Menschen, relativ langsam wieder ausgeschieden werden.

überkippte Lagerung

Bei der Salzstockbildung durch Überkippen im oberen Bereich des Salzstocks entstehende Lagerung, in der die Schichten umgekehrt wie im ursprünglichen Zustand aufeinander folgen.

Wiederaufarbeitung

Bei der Wiederaufarbeitung werden verbrauchte Brennelemente aus Kernkraftwerken aufgearbeitet mit dem Ziel, das nicht verbrauchte Uran für eine Wiederverwendung zurückzugewinnen, das auch in thermischen Reaktoren neu gebildete Plutonium als Brennstoff zu gewinnen und die hochaktiven Spaltprodukte abzutrennen.

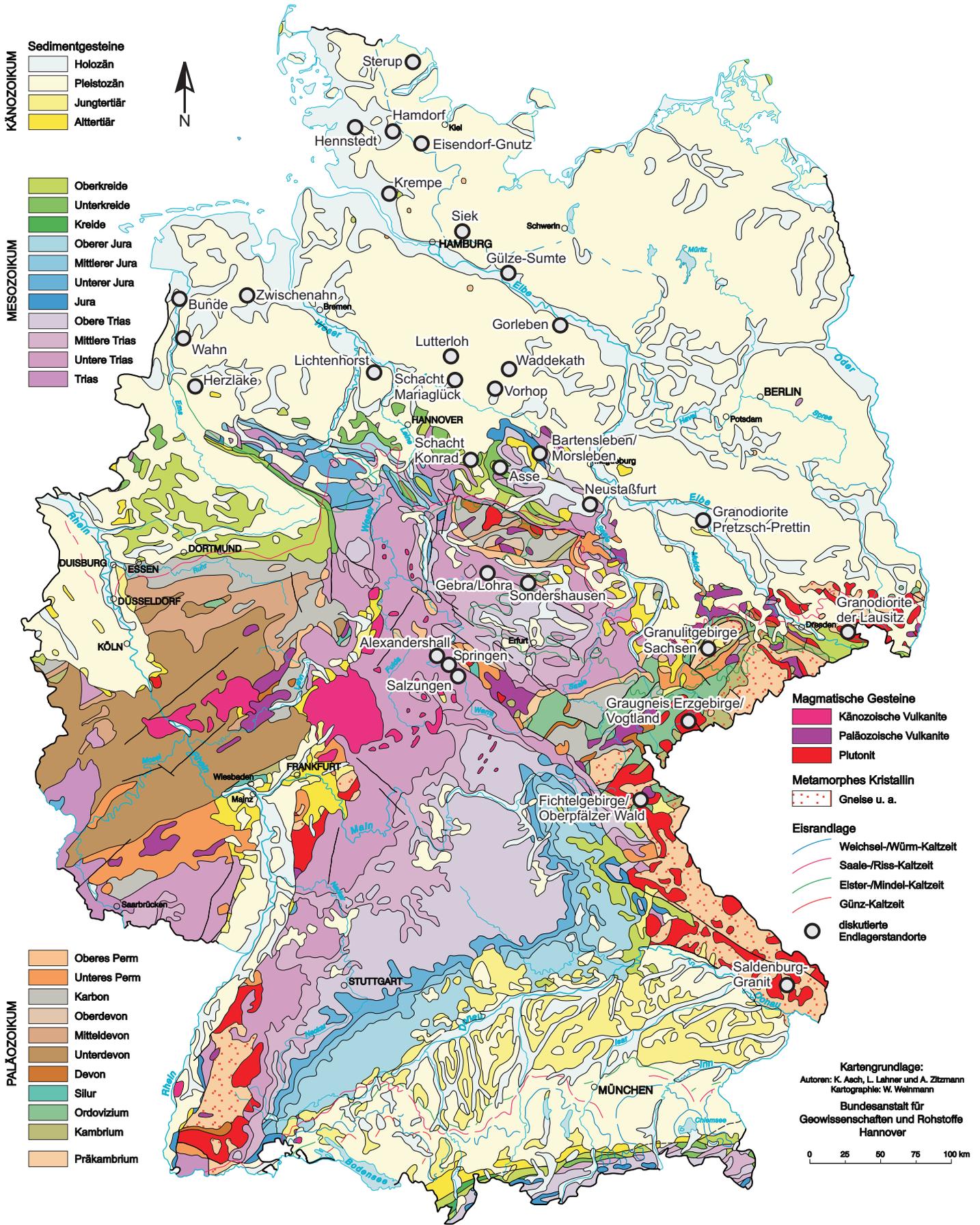
WWER-Reaktoren

Druckwasserreaktoren sowjetischer Bauart, Abkürzung für Wasser-Wasser-Energie-Reaktoren.

Zechstein

Im erdgeschichtlichen Zeitalter des Zechsteins vor 250 Millionen Jahren wurden bei der Eindunstung von Meerwasser große Mengen von Salzmineralien abgeschieden. In mehreren Zyklen wurden Folgen aus Ton- und Karbonatgesteinen, Anhydrit, Steinsalz und Kalisalz abgelagert (siehe auch Grafik „Zeitalter der Erdgeschichte“ auf der Innenseite des hinteren Umschlags).

Im Gebiet des heutigen Nordwestdeutschlands bildeten sich auf Grund der dortigen großen Mächtigkeit der Salzgesteine des Zechsteins und der ihn überlagernden Deckgebirgsschichten eine Vielzahl von Salzstöcken.



Zeitalter der Erdgeschichte

Zeitalter	System	Serie	regionaler norddeutscher stratigraphischer Abschnitt	vor Mio. Jahren	
Känozoikum oder Neozoikum (Erdneuzeit)	Quartär	Holozän		0,01	
		Pleistozän	Weichsel-Kaltzeit		0,07
			Eem-Warmzeit		0,12
			Saale-Kaltzeit	Warthe-Stadium Drenthe-Stadium	0,29
			Holstein-Warmzeit		0,32
			Elster-Kaltzeit		0,5
			Cromer-Komplex (Warmzeit)	Lauenburger Ton	0,7
			Menap-Komplex (Kaltzeit)		1
			Prä-Menap		2,5
	Tertiär	Jungtertiär	Pliozän		25
			Miozän	Hamburg Ton Braunkohlensand	65
		Alttertiär	Oligozän		98
			Eozän		
			Paläozän		
	Mesozoikum (Erdmittelalter)	Kreide	Oberkreide	Maastricht	Emscher Mergel
Campan					
Santon					
Coniac					
Turon					
Cenoman					
Unterkreide		Alb	Hils-Sandstein		
		Apt			
		Barrême			
		Hauterive			
Jura	Malm	Portland	Münder-Mergel (mit Salinar)		
		Kimmeridge			
	Dogger	Oxford	Wirtsgestein Konrad	Korallenoolith*	
Trias	Keuper	Oberer Keuper	Cornbrash-Sandstein		
		Mittlerer Keuper			
	Muschelkalk	Oberer Muschelkalk			
		Mittlerer Muschelkalk			
Buntsandstein	Unterer Muschelkalk				
	Oberer Buntsandstein				
Paläozoikum (Erdaltertum)	Perm	Zechstein	Zechstein 4 (z4, Aller-Folge)		
		Zechstein 3 (z3, Leine-Folge)	Wirtsgestein Morsleben, Gorleben		
		Zechstein 2 (z2, Staßfurt-Folge)			
		Zechstein 1 (z1, Werra-Folge)			
	Rotliegendes				
Karbon					
	Devon				
	Silur				
	Ordovizium				
	Kambrium				
Proterozoikum					
Archaikum					

* mit Unterem und Oberem (Eisenerz-)Lager mit eingeschaltetem Zwischenmittel

| Verantwortung für Mensch und Umwelt |

Kontakt:

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10049

D-38201 Salzgitter

Telefon: + 49 (0) 1888 - 3 33 - 0

Telefax: + 49 (0) 1888 - 3 33 - 18 85

Internet: www.bfs.de

E-Mail: ePost@bfs.de

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



Bundesamt für Strahlenschutz