

**PTB**

# Schachtanlage Konrad

vom Erzbergwerk zum End-  
lager für radioaktive Abfälle



Herausgeber: Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin  
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit für die Abteilung SE  
Bundesallee 100, 3300 Braunschweig

Redaktion: Dr. Eckart Viehl  
Telefon (05 31) 5 92 – 76 10

Umschlagentwurf: werbeteam · Braunschweig/Bremen

Druck: Fischer Druck+Verlag, Wolfenbüttel

Diese Broschüre entstand unter freundlicher Mitarbeit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.

Auf Literaturhinweise wurde verzichtet. Angaben hierzu können bei der Redaktion abgefragt werden.

Bildmaterial stellten: PTB, DBE,GSF, KfK, GNS, KFA-PKS, P+S, Boschert.



## Inhalt

Vorwort

1. Einführung
  2. Tagesanlagen
  3. Grubengebäude
  4. Geplantes Endlagerbergwerk
  5. Geologie
  6. Hydrogeologie
  7. Gebirgsmechanik und Seismik
  8. Geologische Langzeitprognose
  9. Radioaktive Abfälle
  10. Abfallbehälter
  11. Geplanter Einlagerungsablauf
  12. Sicherheitsanalysen
    - Bestimmungsgemäßer Betrieb
    - Störfälle
    - Wärmeentwicklung
    - Langzeitsicherheit
  13. Endlagerungsbedingungen
  14. Produktkontrolle
- Anhang 1:**  
Bergtechnik
- Anhang 2:**  
Stratigraphie und Lithologie
- Anhang 3:**  
Transporte radioaktiver Stoffe
- Anhang 4:**  
Erklärung von Fachwörtern

## Vorwort

Die friedliche Nutzung der Kernenergie begann in der Bundesrepublik Deutschland Mitte der 50er Jahre. Schon damals wurde die Notwendigkeit der Entsorgung erkannt. So ist z.B. im Memorandum der Deutschen Atomkommission vom 9. Dezember 1957 nachzulesen: „Die Entwicklungsarbeiten müssen sich vor allem auf die sichere Beseitigung der radioaktiven Verunreinigungen erstrecken“. Bereits 1965 wurde das stillgelegte Salzbergwerk Asse gekauft, in dem im Rahmen von Versuchs- und Demonstrationsprogrammen von 1967 bis 1978 fast alle damals angefallenen radioaktiven Abfälle endgelagert wurden.

Seit 1979 wird der Salzstock Gorleben auf seine Eignung für die Endlagerung aller Arten fester radioaktiver Abfälle untersucht, also auch für wärmeentwickelnde Abfälle, für deren Endlagerung Steinsalz besonders gute Eigenschaften aufweist. Eine endgültige Eignungsaussage für den Salzstock Gorleben wird erst nach der untertägigen Erkundung möglich sein, die nach gegenwärtigem Planungsstand Mitte der 90er Jahre abgeschlossen sein wird.

Die Eignung der Schachanlage Konrad für die Endlagerung radioaktiver Abfälle wurde untersucht, seit im Oktober 1976 die Stilllegung der Erzförderung aus Wirtschaftlichkeitsgründen erfolgte. Nach Abschluß dieser Untersuchungen, die in der Zeit von 1976 bis 1982 im Auftrage des Bundes von der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung (GSF) durchgeführt wurden, hat die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) am 31. August 1982 einen Antrag auf Einleitung eines Planfeststellungsverfahrens für die Endlagerung gestellt. Bei positivem Abschluß des Planfeststellungsverfahrens kann Anfang der 90er Jahre mit der Einlagerung der radioaktiven Abfälle begonnen werden. Sollte sich wider Erwarten zeigen, daß ein positiver Planfeststellungsbeschluß nicht zu erzielen ist, wird die Bundesregierung entscheiden, ob auch die Schachanlage Asse eine Entsorgungsfunktion erhalten soll. Derzeit wird die Schachanlage Asse vorrangig für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zugunsten von Gorleben genutzt.

Die Endlagerung radioaktiver Abfälle ist in der Bundesrepublik Deutschland eine staatliche Aufgabe. Die Kosten trägt der Verursacher. Die Verantwortung für die Endlagerung radioaktiver Abfälle, die in der Ressortverantwortung des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) liegt, hat der Gesetzgeber auf die PTB übertragen. Die PTB kann sich für die Durchführung ihrer Arbeit Dritter bedienen. Eigens hierfür wurde die Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE) gegründet, die die Schachanlage Konrad nach positivem Abschluß des Planfeststellungsverfahrens für die PTB umrüsten und später betreiben wird. Bis zu diesem Zeitpunkt sind die Stahlwerke Peine-Salzgitter Betreiber der Schachanlage.

Ein wichtiger Partner der PTB ist die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), die geowissenschaftliche und geotechnische Fragen im Zusammenhang mit Planung, Errichtung, Betrieb und Stilllegung von Endlagern bearbeitet. Daneben führen Großforschungseinrichtungen, Hochschulen und die Industrie im Auftrage des Bundesministers für Forschung und Technologie (BMFT) grundlegende und im Auftrage der PTB anlagenbezogene Forschungs- und Entwicklungsarbeiten aus, deren Ergebnisse auch in die Planungen für die Schachanlage Konrad als Endlager für radioaktive Abfälle eingegangen sind.

Mit der Erstellung des Plans für die Schachanlage Konrad wurde weltweit erstmals die Sicherheit eines Endlagers für alle Arten radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung unter Betriebs-, Störfall- und Langzeitbedingungen nachgewiesen. Diese Broschüre soll einen Überblick über das Projekt geben. Der Schwerpunkt liegt dabei auf dem geplanten Verwendungszweck des ehemaligen Eisenerzbergwerks als Endlager für radioaktive Abfälle. Eine ausführliche Erklärung der verwendeten Fachwörter befindet sich im Anhang 4.

Braunschweig, November 1987

# PTB

# 1. Einführung

Die erste städtische Ansiedlung im heutigen Stadtgebiet Salzgitter verdankt ihr Dasein einer seit zwei Jahrtausenden bekannten natürlichen Salzquelle. Der fruchtbare Boden, reichlich vorhandenes Quellwasser, das lebensnotwendige Salz und alle zum Leben notwendigen Rohstoffe – unter diesen die begehrten „Eisensteine“ – ließen die Menschen seßhaft werden. Der Bergbau hat im Salzgitter-Gebiet also eine lange Tradition.

Die Eisenerz-Vorkommen waren seit dem 19. Jahrhundert Grundlage der Industrialisierung im Raum Salzgitter. Es gab drei Gebiete, in denen abbauwürdige Eisenerze an der Erdoberfläche auftraten (Bild 1). Diese Lagerstätten entstammten der Unter- und Oberkreide, sie entstanden also vor etwa 136 bis 65 Millionen Jahren. Das Eisenerz wurde im Tage- und Tiefbau abgebaut. Die erste Erzförderung begann im Jahre 1867 in der Grube „Finkenkuhle“ bei Salzgitter-Ringelheim. Die letzte in diesem Raum betriebene Erzgrube war die Schachanlage Haverlahwiese, deren Förderung im Juni 1982 eingestellt wurde. Ihr Eisenerzvorkommen war bereits seit 1837 bekannt. Auch hier begann der Erzabbau zunächst im Tagebau; erste Stollen wurden 1845 vorgetrieben. Der Tagebau wurde im Oktober 1967 eingestellt.

Die Schachanlage Konrad ist das jüngste der ehemaligen Eisenerzbergwerke im Raum Salzgitter (Bild 2). Die Lagerstätte unterscheidet sich wesentlich von denen der anderen genannten Standorte. Der durch die Schachanlage Konrad aufgeschlossene Eisenerzhorizont wurde im Oberen Jura (Malm) vor etwa 150 Mio Jahren abgelagert. Die weiträumige Eisenerz-lagerstätte ist Teil eines Systems von Salzstockrandsenken, deren erzführender Bereich sich über eine Länge von etwa 60 km von Salzgitter-Hallendorf bis in das Gebiet von Vorhop, nördlich von Gifhorn, erstreckt. Die Breite des Eisenerzgebietes beträgt 8 km bis 15 km. Das Erzvorkommen erreicht an keiner Stelle die Erdoberfläche und ist in der Schachanlage Konrad zwischen etwa 800 m und 1300 m Tiefe aufgeschlossen.

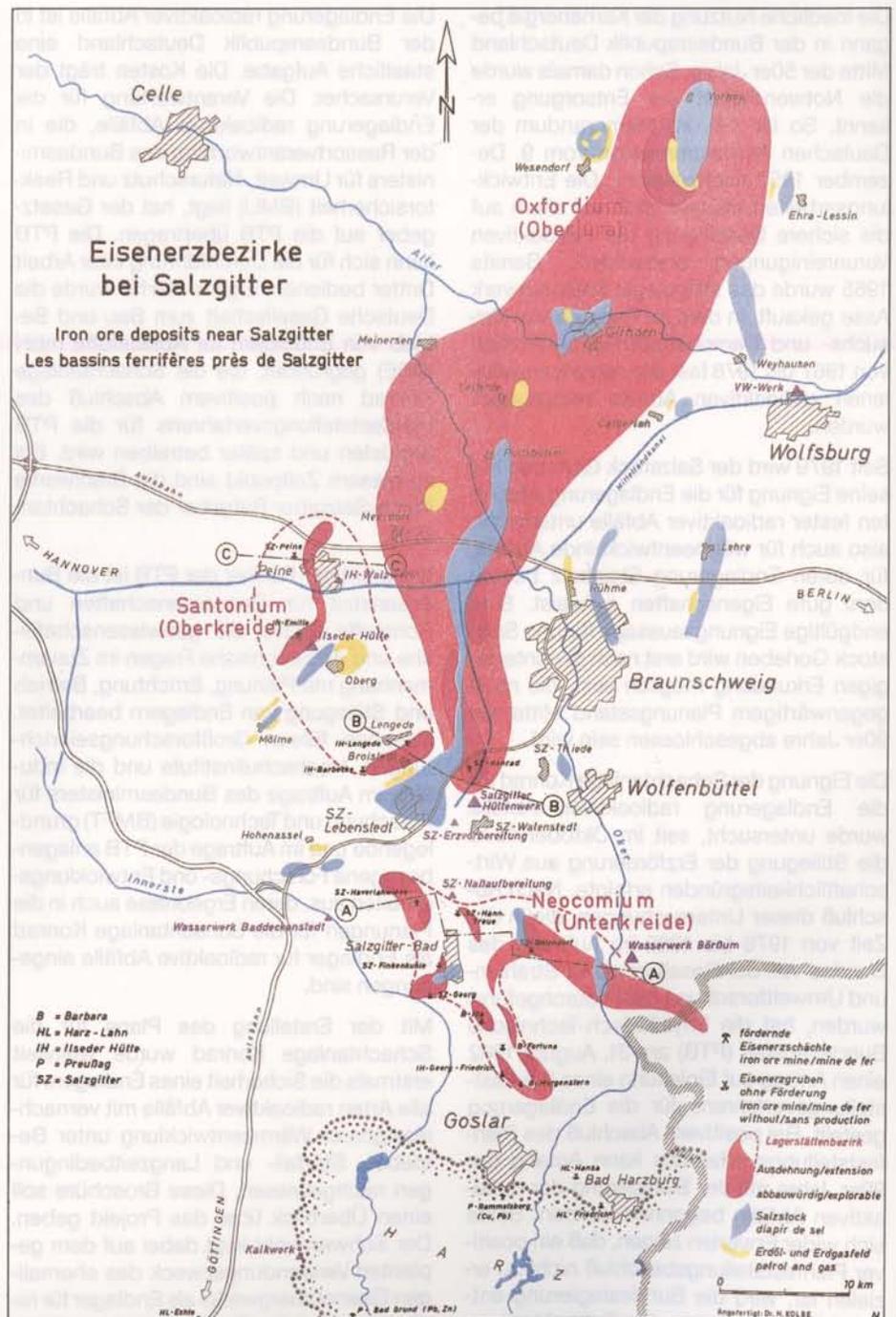


Bild 1: Die verschiedenen Jura- und Kreide-Eisenerz-vorkommen im Raum Gifhorn-Goslar. Die Schachanlage Konrad liegt im Südtel der Eisenerz-lagerstätte des Oberjura (großflächig colorierter Bereich) (aus Unterlagen der Stahlwerke Peine-Salzgitter AG nach H. Kolbe, Stand Anfang der 60er Jahre).

Die tiefe Lage des Erzlagers erklärt auch, weshalb die Lagerstätte erst durch Erdölaufschlußbohrungen in den 30er Jahren entdeckt wurde. Die eigentliche Exploration ihres Südabschnitts, in dem die Schachanlage Konrad steht, fand in den 50er und in den 60er Jahren statt.

Im Dezember 1954 wurde von der Salzgitter-Erzbergbau AG und der Ilseder Hütte AG die bergrechtliche Gewerkschaft Konrad gegründet. Am 5. Juli 1956 gab die Salzgitter-Erzbergbau AG ihre Absicht bekannt, die Eisenerzvorkommen zu gewinnen. Der Lagerstättenvorrat war auf 1,4 Milliarden t oolithischen Eisenerzes mit Eisengehalten zwischen 27 % und 33 % geschätzt worden.

Die Schachanlage Konrad ist für ein Eisenerzbergwerk außergewöhnlich trocken. Da bei der Endlagerung von Schadstoffen im tiefen geologischen Untergrund Wasser das entscheidende Medium für einen denkbaren Rücktransport der Schadstoffe in die Biosphäre ist, lag es nahe, die Eignung der Schachanlage für die Beseitigung von Abfallstoffen zu untersuchen. Voruntersuchungen im Jahr 1975 haben gezeigt, daß die Schachanlage für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in Frage kommen könnte. Wesentliche Merkmale sind dabei die Lage des Eisenerzhorizontes in großer Tiefe und die gute Abdichtung gegen oberflächennahes Grundwasser durch ein überwiegend aus Ton- und Mergelsteinen aufgebautes Deckgebirge.

In der Zeit von 1976 bis 1982 hat die GSF im Auftrage des BMFT insbesondere die geologischen und bergtechnischen Gegebenheiten des Eisenerzbergwerks Konrad in bezug auf eine mögliche Endlagerung radioaktiver Abfälle untersucht.

Nach positivem Abschluß dieser Untersuchungen stellte die PTB am 31. August 1982 einen Antrag auf Einleitung eines Planfeststellungsverfahrens. Die eingereichten Unterlagen – der „Plan“ – konnten zunächst noch nicht vollständig sein, da die Eignungsuntersuchungen bis dahin nur auf der Basis des vorhandenen Probenmaterials aus Bohrungen und aus Grubenaufschlüssen beruhten. Gleichzeitig wurde deshalb ein Standorterkundungsprogramm zum Sicherheitsnachweis und

zur Ergänzung des Plans eingeleitet. Dieses geschah auf der Grundlage der „Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk“, die zwischenzeitlich vom Bundesminister des Innern verabschiedet worden waren. Untersucht wurden insbesondere

- der Bau der Lagerstätte sowie ihrer Liegend- und Hangendschichten,
- der großräumige geologische Bau,
- die hydrogeologischen Verhältnisse im Deckgebirge, im Erzlager und im Liegenden,
- die hydrochemischen Verhältnisse der Grundwasserleiter von Quartär, Kreide und Jura und die hydrologischen Gegebenheiten,
- die Eigenschaften der geologischen Formationen als Ausbreitungsbarrieren für Radionuklide (Durchlässigkeiten, Sorptionsverhalten),
- die gebirgsmechanischen Verhältnisse in der Umgebung von Kammern, Strecken und des gesamten Grubengebäudes und
- die langfristige seismische Stabilität des Standortes.

Für die Untersuchung der Barriereigenschaften des Deckgebirges und möglicher wasserführender Schichten im Hangenden und Liegenden des Erzlagers wurde eine Tiefbohrung in der Nähe des Schachtes Konrad 2 niedergebracht. Die Bohrung mit der Bezeichnung Konrad 101 lieferte bis zu ihrer Endteufe bei 1001,75 m ein geologisches Profil durch das Deckgebirge bis in das Liegende des Erzlagers. Da die Bohrung vollständig gekernt und durch Bohrlochsonden vermessen wurde, verbesserte sie die Kenntnis der stratigraphischen Abfolge im Gebiet der Schachanlage Konrad erheblich. Eine Überarbeitung der älteren Bohrprofile führte in Verbindung mit den Aufschlüssen der untertägigen Erkundung zu neuen Vorstellungen über die paläogeographischen Grenzen des Eisenerzlagers. Die Bohrung Konrad 101 diente auch dem Ziel, die hydraulischen Eigenschaften der Gesteine im Hangenden und Liegenden des geplanten Einlagerungshorizontes zu erkunden. In den etwa 400 m mächtigen Ton- und Mergelsteinen der Unterkreide, die die wichtigste geologische Barriere des geplanten Endla-

gers darstellen, wurden durchgehend sehr geringe Durchlässigkeitsbeiwerte bestimmt. Die Durchlässigkeit der Kalk- und Mergeltonsteine des Korallenoolith, einschließlich des Eisenoolith ist ebenfalls sehr gering. Nur im tiefsten Teil des Korallenoolith wurden zwei Klüfte mit großer Durchlässigkeit angetroffen.

Zur vertieften Untersuchung und Beschreibung von Schichtmächtigkeiten und Tektonik im Bereich der Schachanlage Konrad und ihrer Umgebung wurden reflexionsseismische Untersuchungen durchgeführt. Seismische Profile von etwa 80 km Gesamtlänge haben die bis dahin vorliegenden Kenntnisse über den geologischen Bau wesentlich verbessert.

Die bestehenden Hohlräume des Grubengebäudes können für die Endlagerung der radioaktiven Abfälle nicht genutzt werden, weil die alten Abbaue teilweise verfüllt wurden oder nicht mehr begehbar sind. Die Planung auf der Basis der untertägigen Erkundung hat ergeben, daß sich Einlagerungshohlräume mit einem Gesamtvolumen von etwa 1 Mio m<sup>3</sup> neu erstellen lassen. In Abhängigkeit von den jährlich einzulagernden Abfallmengen ergibt sich bei 50%iger Nutzung des Hohlraumes eine Betriebszeit des Endlagers von etwa 40 Jahren. In dieser Zeit können rund 95 % des Volumens der in der Bundesrepublik Deutschland anfallenden radioaktiven Abfälle endgelagert werden.

## 2. Tagesanlagen

Die Schachanlage Konrad liegt bei Salzgitter-Bleckenstedt, zwischen Braunschweig und Salzgitter-Lebenstedt (Bild 2). Sie verfügt über 2 Schächte. Das 11 ha große Grundstück des Schachtes Konrad 1 liegt innerhalb der Grenzen der Stadt Salzgitter, nordwestlich des Stadtteils Salzgitter-Bleckenstedt. Etwa 1400 m davon entfernt in südsüdöstlicher Richtung, ebenfalls innerhalb der Grenzen der Stadt Salzgitter, befindet sich das 5,5 ha große Grundstück des Schachtes Konrad 2 im nordwestlichen Bereich des Werkes Salzgitter der Stahlwerke Peine-Salzgitter AG. Die Tagesanlagen wurden vor Beginn des Schachtbaufens – soweit sie hierfür benötigt wurden – oder unmittelbar danach in den 60er Jahren errichtet.

Während der Zeit der Erzgewinnung diente der Schacht Konrad 1 der Seilfahrt, dem Materialtransport und dem Transport des Haufwerks nach über Tage. Bild 4 zeigt eine Luftaufnahme der Anlage. Das Doppelbockgerüst mit seinen übereinander liegenden Seilscheiben ist auch auf dem Titelbild abgebildet. Es trägt im nördlichen Trum eine Gestellförderung mit 2 dreietagigen Körben. Die Nutzlast der Förderanlage beträgt 18 t, die Fahrgeschwindigkeit bei Güterförderung und Seilfahrt 10 m/s. Das südliche Trum enthält eine doppeltrümige Gestellförderanlage mit 4,6 t Nutzlast und einer Fahrgeschwindigkeit bei Güterförderung und Seilfahrt von 8 m/s. Der Schacht Konrad 1 ist einziehender Wetterschacht.

Der Schacht ist durch die Schachthalle zugänglich, in der gleisgebundene Wagen zur Übergabe des Haufwerks auf die Bandförderung umlaufen und Material zum Einfördern in die Grube gelagert wird. Auf dem Schachtgelände befinden sich außerdem Verwaltungs-, Sozial-, Kauen- und Pfortnergebäude, Lagerhallen, Kühlturm, Transportwinden- und Abteufmaschinengebäude.

Schacht Konrad 2 diente während des Erzförderbetriebes als ausziehender Wetterschacht (Bild 3). Im Schacht befindet sich eine Zweiseilgestellförderanlage mit zweietagigem Förderkorb, die für eine Nutzlast von 10 t ausgelegt ist. Die Förderanlage ist für Seilfahrt und Materialförderung mit Geschwindigkeiten bis zu 8 m/s zugelassen.

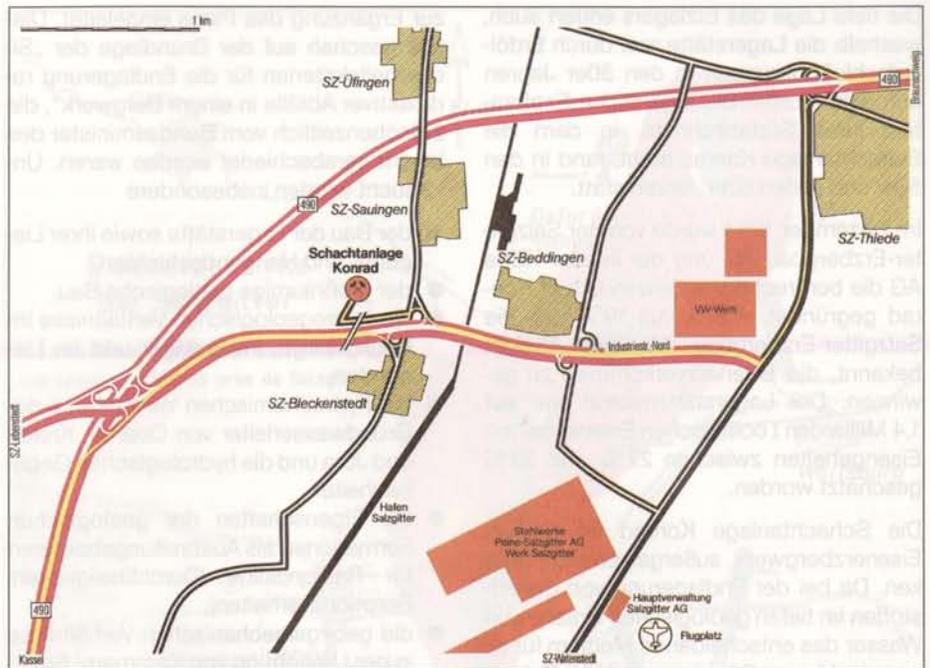


Bild 2: Schacht Konrad 1 ist mit Kraftfahrzeugen über die Industriestraße Nord zu erreichen.

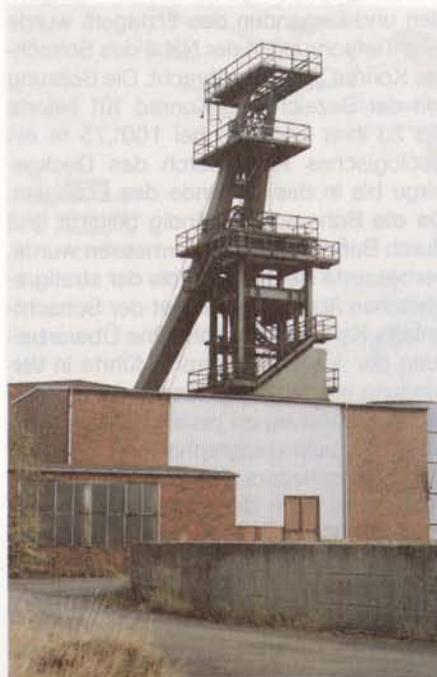


Bild 3: Schacht Konrad 2.



### 3. Grubengebäude

Bild 5 zeigt den Grundriß des Grubengebäudes der Schachanlage Konrad mit den bis Ende 1982 aufgefahrenen Strecken und Abbauräumen. Schacht Konrad 1 wurde in der Zeit vom 18.9.1957 bis zum 30.1.1960 bis 1232,5 m abgeteuft (Bild 6). Füllörter wurden bei 1000 m (3. Sohle), bei 1100 m (4. Sohle) und bei 1200 m (5. Sohle) ausgesetzt. Das Erzlager wurde in einer Teufe von 1150,5 m bis 1184,9 m angetroffen. Das Abteufen des Schachtes Konrad 2 begann am 1.3.1960 und endete am 31.10.1962 bei einer Endteufe von 999 m. Bei 983 m (3. Sohle) wurde ein Füllort ausgesetzt. Die lichten Durchmesser beider Schächte betragen sieben Meter.

Der Zuschnitt des Grubengebäudes richtete sich insbesondere nach der großen Tiefenlage des Erzkörpers bis über 1200 m, seiner Mächtigkeit von 12 m bis 18 m, seinem Einfallen mit 20° bis 22° im zentralen Bereich und den tektonischen Verhältnissen. Die hohe Gebirgstemperatur von 40 °C bis 49 °C erforderte eine starke Bewetterung.

Im September 1960 begann von Schacht Konrad 1 aus auf der 1200-m-Sohle die erste Streckenauffahrung, bei der bereits ab Dezember 1960 das erste Erz gefördert werden konnte. Die 1100-m-Sohle wurde mit Beginn des Jahres 1961 aufgefahren; sie erreichte nach 210 m in südlicher Richtung das Erzlager. Dort wurde im Streichen des Lagers weiter gefahren. Die 1000-m-Sohle wurde ab März 1961 von Schacht Konrad 1 aus zunächst in südöstlicher Richtung aufgefahren, dann nach Süden geschwenkt, um auf kürzestem Wege das durch den Bleckenstedter Sprung versetzte Lager zu erreichen, und im Erzlager weiter nach Süden aufgefahren. Von ihr aus wurde zwischen Oktober 1962 und Januar 1963 der Schachtquerschlag zum Schacht Konrad 2 vorgetrieben. Die direkte Verbindung der beiden Schächte über eine durchgehende Sohle verbesserte die Wetterführung entscheidend (Bild 7).

Für den Abbau wurden die 1000-m-Sohle und die 1100-m-Sohle im Einfallen des Erzlagers untereinander verbunden und das Lager durch streichend verlaufende Abbaustrecken in drei Bereiche unterteilt.

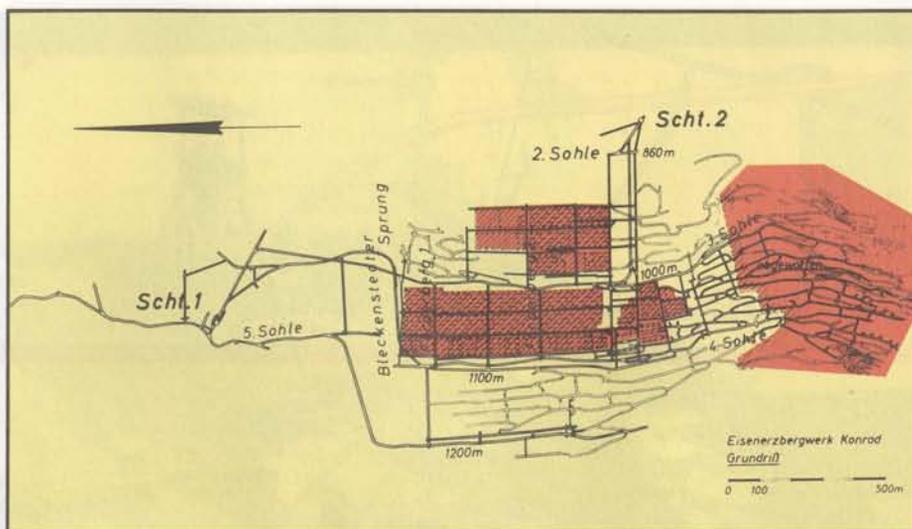


Bild 5: Der Grundriß des Grubengebäudes mit den bis Ende 1982 aufgefahrenen Strecken und Abbauräumen. Die farbig hinterlegten Bereiche sind ehemalige Abbaufelder, die für die Endlagerung radioaktiver Abfälle nicht genutzt werden können.

Bild 6: 1957 wurde mit dem Teufen des Schachtes Konrad 1 begonnen. Das Bild zeigt das Teufgerüst über Schacht 1 im Jahre 1958.



1965 begann der Erzabbau im „schwebenden Kammer-Weitungsbau mit Spülversatz“. Bei diesem Verfahren wurde zunächst eine Verbindung zwischen den Teilsohlen mit einem Durchmesser von etwa 5 m geschaffen, die anschließend trichterförmig von der unteren zur oberen Teilsohle mit Bohr- und Sprengarbeit erweitert wurde. Das dabei gewonnene Erz wurde aus der Kammer zur unteren Abbaustrecke gefördert, dort zerkleinert und schließlich zum Schacht Konrad 1 transportiert.

Aus jeder Kammer wurden zwischen 8000 t und 14000 t Erz gewonnen. Die Abba Hohlräume wurden nicht ausgebaut und durften nicht betreten werden, der ausgeerzte Bereich wurde mit Spülversatz (ein Sand-Kies-Wasser-Gemisch) versehen. Nach diesem Verfahren wurde auch der Bereich oberhalb der 1000-m-Sohle abgebaut.

Das angewandte Abbaufahren erwies sich wegen der großen, nicht kontrollierbaren Abbauräume als zu aufwendig. Bei der Entwicklung einer neuen Abbautechnik fiel die Wahl auf ein Verfahren mit gummibereiften gleislosen Dieselgroßmaschinen. Die Maschinenausrüstung bestand aus Bohrwagen, Lade- und Hilfsfahrzeugen. Dieser im LHD-System (Loading-Hauling-Dumping) betriebene „Streckenpfeilerbau“ südlich der Hauptauffahrt zwischen der 100-m-Sohle und der 1000-m-Sohle, dessen Abbaufahren einem konventionellen Streckenvortrieb entspricht, löste 1971 das frühere Abbaufahren ab (siehe Anhang 1). Auf ein Versetzen der abgebauten Kammern wurde verzichtet. Zur Sicherung der hangenden Schichten mußten statt dessen stärkere Pfeiler zwischen den Abbauen stehen bleiben. Die horizontal angelegten Abbaukammern hatten einen Querschnitt von etwa 30 m<sup>2</sup> und wurden aus wendelartig oder auch diagonal angelegten Zugängen über zahlreiche Teilsohlen erreicht.

Das neue Abbaufahren erwies sich schon nach relativ kurzer Zeit als leistungstärker und kostengünstiger. Es zeigte außerdem, daß im Erzlager standfeste Räume mit großem Querschnitt erstellt werden können. Dies ist eine wesentliche



Bild 7: Das Bohren eines Sprengbohrlochs mit einem Preßluftbohrhammer beim Streckenvortrieb auf der 1000-m-Sohle im September 1962. Der Streckenvortrieb erfolgt heute mit Teilschnittmaschinen (siehe Anhang 1).

Voraussetzung für die Nutzung solcher Hohlräume für die Einlagerung von Schadstoffen, da die Hohlräume einen möglichst großen Querschnitt aufweisen müssen und im Rückbau mit dem Abfallgut befüllt werden.

Trotz der wesentlich geringeren Betriebskosten erwies sich auch dieses Abbaufahren schließlich als unrentabel, so daß im Oktober 1976 der Produktionsbetrieb eingestellt wurde. Das LHD-Feld ist heute fast vollständig abgeworfen.

Von 1961 bis zur Einstellung des Produktionsbetriebes wurden über 6,7 Mio t Erz gefördert. Die höchste Jahresförderung lag 1973 bei über 700000 t.

Nach der Einstellung der Erzgewinnung leistete ein Teil der verbliebenen Belegschaft Zuarbeit für die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten der GSF. Daneben wurden Reparaturarbeiten an den Strecken und Auffahrten zur Erhaltung der Betriebssicherheit fortgesetzt. In dieser Zeitspanne, die sich von 1977 bis 1982 erstreckte, fielen rund 150000 t Erz an.

Für Forschungsarbeiten der GSF wurde 1978 mit der Erstellung der auch als „Wet-

terteststrecke“ bekannten Untersuchungsstrecke begonnen (Bild 8). Sie wurde zunächst 88 m weit in Sprengtechnik als Teilsohle zwischen der 5. und 6. Sohle aufgefahren und 1980 mit einer Gesamtlänge von 202 m fertiggestellt. Zur Vergrößerung des Gesamtquerschnitts auf 40 m<sup>2</sup> wurde der Sohlenboden nachgeschnitten. Die Wetterteststrecke ist mit einer Abschlußmauer versehen. Sie diente insbesondere gebirgsmechanischen Untersuchungen und Permeabilitätsmessungen.

Auf einer weiteren Teilsohle zwischen der 4. und 5. Hauptsohle wurde versuchsweise mit einer Teilschnittmaschine das Streckenauffahren im maschinellen Streckenvortrieb durchgeführt. Der Vortrieb verlief in 2 Phasen. In der 1. Phase wurde die Kalotte der Strecke, also der obere Bereich, mit einem Querschnitt von 25 m<sup>2</sup> aufgefahren. In der 2. Phase wurde das Streckenprofil durch Nachschneiden der Sohle auf insgesamt 40 m<sup>2</sup> erweitert (siehe Anhang 1).

Ab 1982 führte die PTB das Standorterkundungsprogramm mit dem Ziel fort, einen umfassenden Sicherheitsnachweis zu

liefen und den Plan auf der Grundlage der „Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk“ zu ergänzen. Danach müssen zur untertägigen Erkundung „... Schächte und Strecken – diese bis etwa zum äußeren Rand der voraussichtlichen Einlagerungsfelder – erstellt werden“. Da die bestehenden Grubenräume außer im Feld 1 nicht für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in Frage kommen, mußten die außerhalb des bestehenden Grubengebäudes hierfür vorgesehenen Feldesteile durch Strecken und Bohrungen erkundet werden (Bild 9).

Die untertägige Erkundung umfaßte

- die Auffahrung von Untersuchungsstrecken auf der 800-m-Sohle sowie der 1300-m-Sohle bis zum äußeren Rand der vorgesehenen Einlagerungsfelder südlich des Bleckenstedter Sprungs,
- die Verlängerung des Schachtquerschlags auf der 1000-m-Sohle vom Schacht Konrad 1 in Richtung Osten zur Erkundung der Lagerstättenverhältnisse nördlich des Bleckenstedter Sprungs und
- das Auffahren einer Wendelstrecke oberhalb der 1 100-m-Sohle.

Im Rahmen der Erkundung und der weiteren betriebsnotwendigen Arbeiten wurden von 1982 bis 1985 rund 600 000 t Haufwerk gefördert, das teils verhüttet und teils im Bereich der ehemaligen Tagebaue Vallstedt und Haverlahwiese gelagert wurde.

Im Anschluß an die untertägige Erkundung werden seit 1985 durch das Auffahren verschiedener Strecken weitere technische Daten und Erfahrungswerte für die Detailplanung des Grubengebäudes gewonnen und notwendige Arbeiten zur Offenhaltung der Grubenräume weitergeführt. Ferner werden die aufgefahrenen Erkundungsstrecken soweit möglich auch an ihrem Ende mit dem übrigen Grubengebäude verbunden, um durchgehende Bewetterung zu erhalten. Schließlich sollen nicht versetzte Abbaufelder zur Minimierung des Radonaustrages abgeschlossen und die üblichen Unterhaltungsmaßnahmen im Grubengebäude durchgeführt werden.

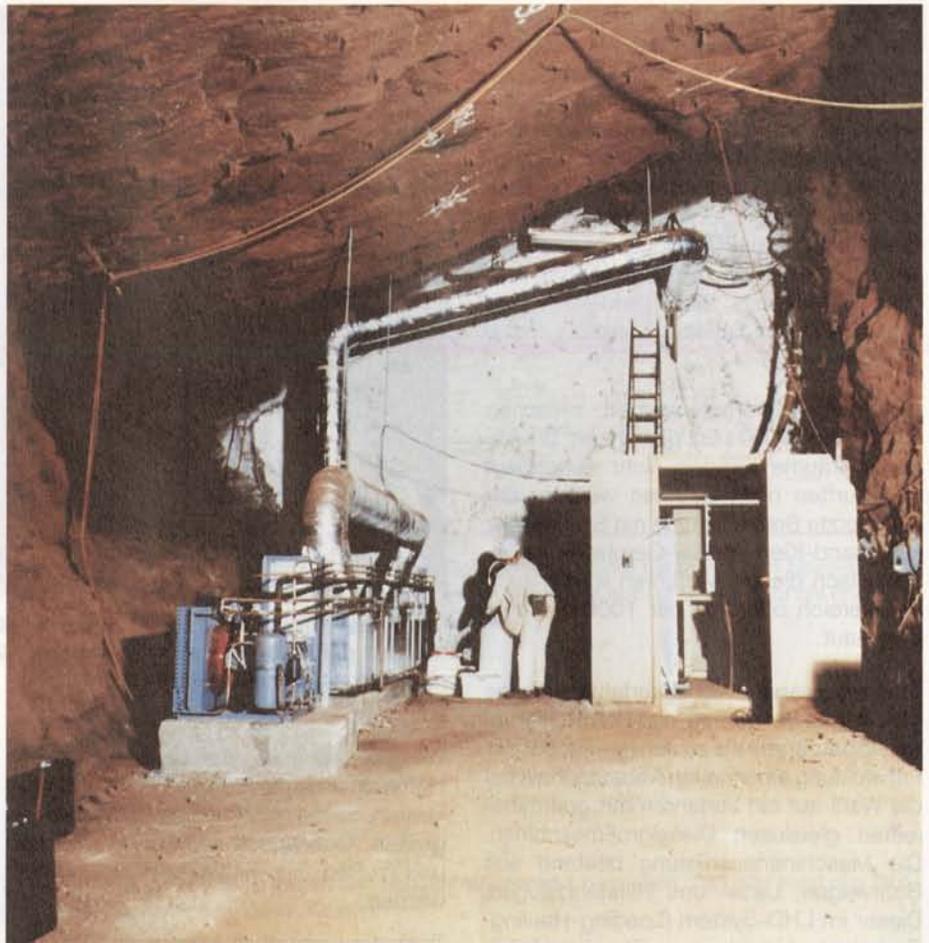


Bild 8: Blick auf die Abschlußmauer vor der Wetterteststrecke.

## 4. Geplantes Endlagerbergwerk

Nach dem Planfeststellungsbeschluß kann mit der Auffahrung der Einlagerungskammern begonnen werden. Die Einlagerungskammern sind zu Einlagerungsfeldern zusammengefaßt. Insgesamt sind neun Einlagerungsfelder vorgesehen, die alle im Korallenoolith aufgefahren werden sollen. Die Einlagerungskammern werden mit einem Querschnitt von etwa 40 m<sup>2</sup> bei einer Sohlenbreite von etwa 7 m und einer Höhe von etwa 6 m erstellt und grundsätzlich söhlig aufgefahren. Die erlaubten Abweichungen der Längsneigung betragen maximal 2,5%. Das Verhältnis Festenbreite zur Kammer- bzw. Streckenbreite beträgt in der Regel 4 zu 1 zwischen benachbarten Kammern sowie zu sonstigen Strecken im Einlagerungsfeld. Dabei ergeben sich Festen von etwa 28 m Stärke. Zwischen Kammern und den Kopf- bzw. Grundstrecken beträgt dieses Verhältnis 5 zu 1, entsprechend einer Festenstärke von etwa 35 m. Die Einlagerungskammern sind über eine Kammerzufahrt von mindestens 35 m Länge von einer Rampe oder Wendel aus erreichbar. Der Querschnitt dieser Kammerzufahrten beträgt etwa 25 m<sup>2</sup>. Am Übergang zur Einlagerungs-

kammer wird eine Entladekammer aufgefahren.

Über den Kammerzufahrten wird in der Regel je Einlagerungsfeld eine Abwettersammelstrecke aufgefahren. Diese wird über Großbohrlöcher an den Eingangsbereich der jeweiligen Einlagerungskammer angeschlossen, so daß ein in der Abwettersammelstrecke installierter Lüfter die saugende Sonderbewetterung während der Einlagerung sicherstellen kann. Die Abwettersammelstrecken haben einen Querschnitt von etwa 20 m<sup>2</sup> und sind unmittelbar an die Hauptabwetterstrecken angeschlossen.

Die Einlagerung beginnt im Einlagerungsfeld 5 (Bild 9), das in der Errichtungsphase hergerichtet wird. Hierzu werden südlich des Schachtes Konrad 2 zwischen der 850-m-Sohle und der 800-m-Sohle 8 Einlagerungskammern, 9 Entladekammern, die Abwettersammelstrecke und die Abwetterbohrlöcher erstellt (Bild 10). Darüber hinaus ist die 800-m-Sohle nach Süden von etwa 28 m<sup>2</sup> auf etwa 40 m<sup>2</sup> Querschnitt zu erweitern.

PTB

Mit der Einlagerung wird begonnen, nachdem das jeweilige Feld bzw. ein als Kontrollbereich abtrennbares Teilfeld vollständig aufgefahren worden ist. In den 9 Einlagerungsfeldern steht ein Einlagerungshohlraum von insgesamt rund 1 000 000 m<sup>3</sup> zur Verfügung.

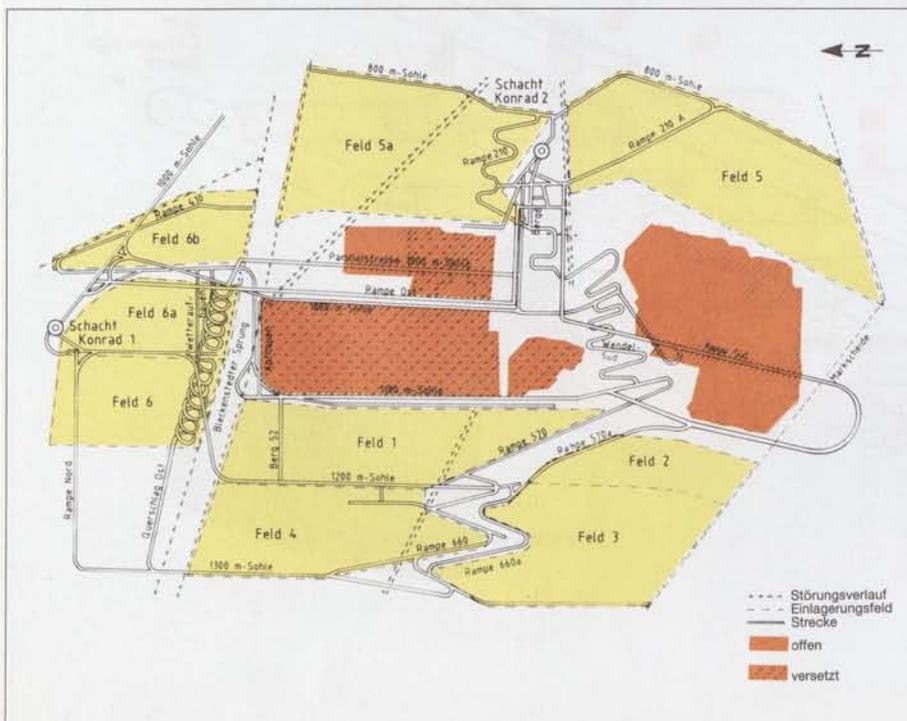


Bild 9: Der Grundriß des Grubengebäudes mit den Erkundungsstrecken (800-m-Sohle, 1300-m-Sohle) und den Strecken und Rampen, die aus Betriebsgründen neu erstellt wurden (z. B. Rampe Süd, Rampe Nord, Rampe Ost). In den gelb angelegten Feldern 1 bis 6 sollen die Einlagerungskammern aufgefahren werden.



des Zwischenmittels. Mit dem darüber folgenden 4 m bis 10 m mächtigen Oberen Lager setzte erneut karbonatische eisenhaltige Sedimentation ein, die das gesamte Becken erfaßte, jedoch in den Eisengehalten unter denen des Unteren Lagers bleibt.

Wirtschaftlich bedeutende Rohstofflagerstätten werden durch die Einrichtung des Endlagers nicht betroffen. Die Eisenerzlagerstätte im Mittleren Korallenoolith ist wegen des weit unter 40 % liegenden durchschnittlichen Eisengehaltes nach heutigen Maßstäben eine Armerzlagerstätte. Mit der Umstellung des Bergbaus auf Lagerstätten, die in Großtagebauen abgebaut werden können, und wegen der Umstellung der Hütten auf Reicherze und Erzkonzentrate mit über 60 % Eisengehalt wurde der Abbau der Konraderze unrentabel.

Das Gebiet zwischen den Salzstrukturen

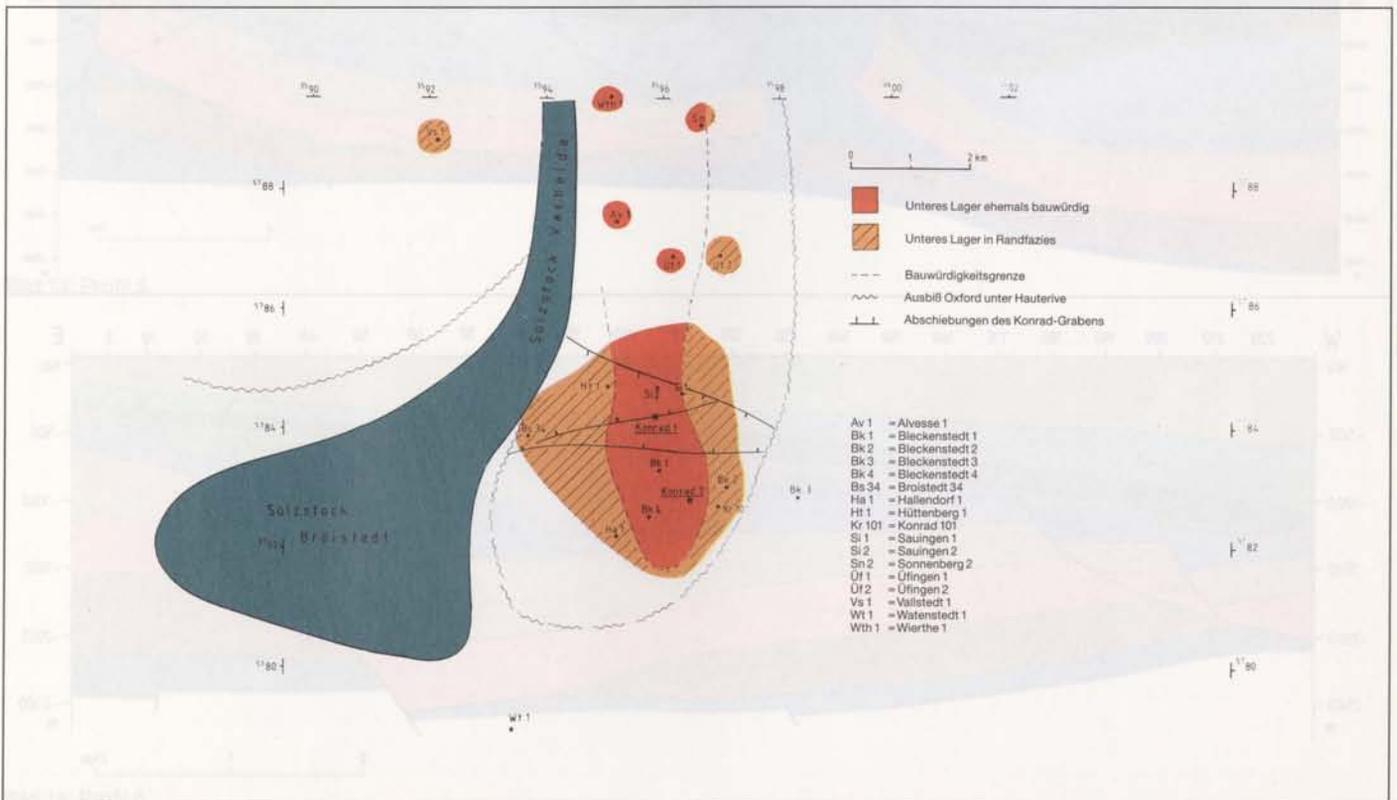
Broistedt-Vechelde, Thiede, Flachstöckheim und dem Salzgitter-Höhenzug ist durch das Zusammenwirken von epirogenen, bruchtektonischen und halokinetischen Vorgängen geprägt.

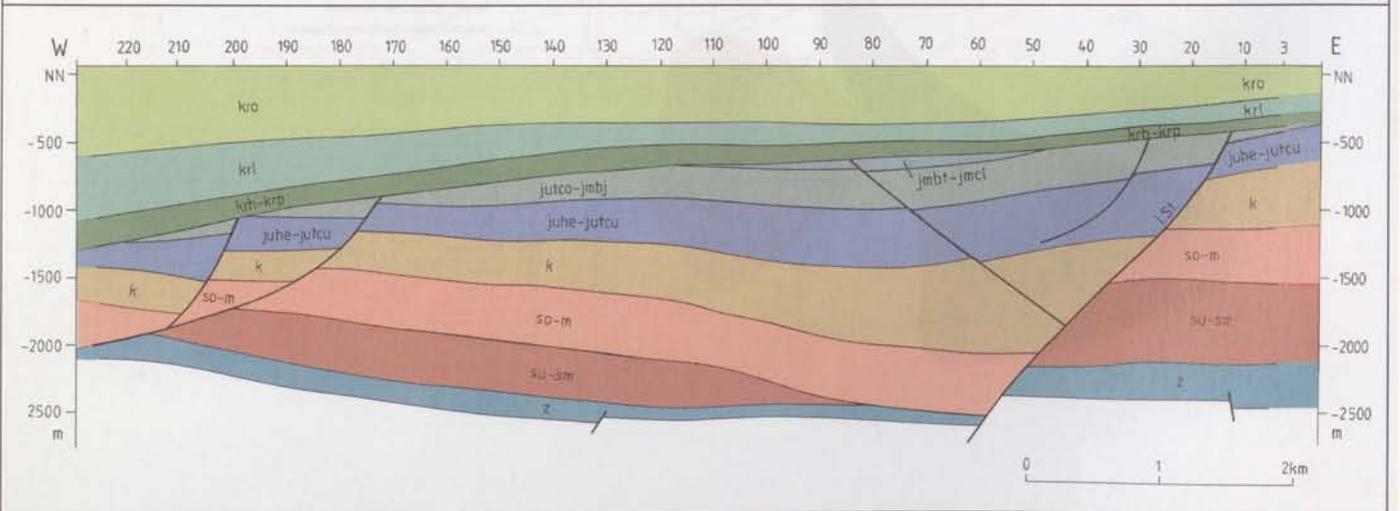
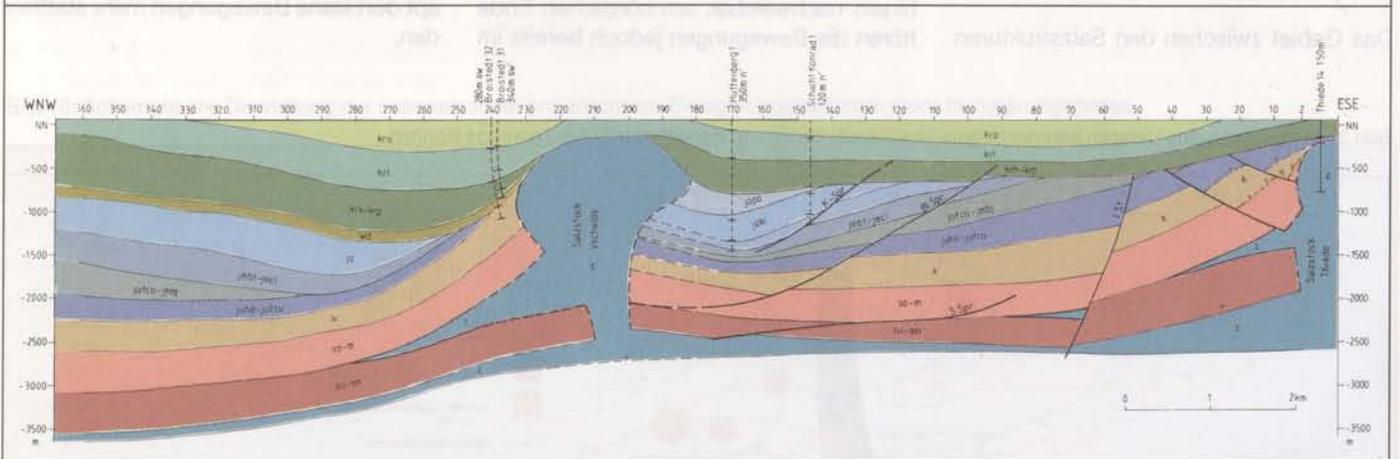
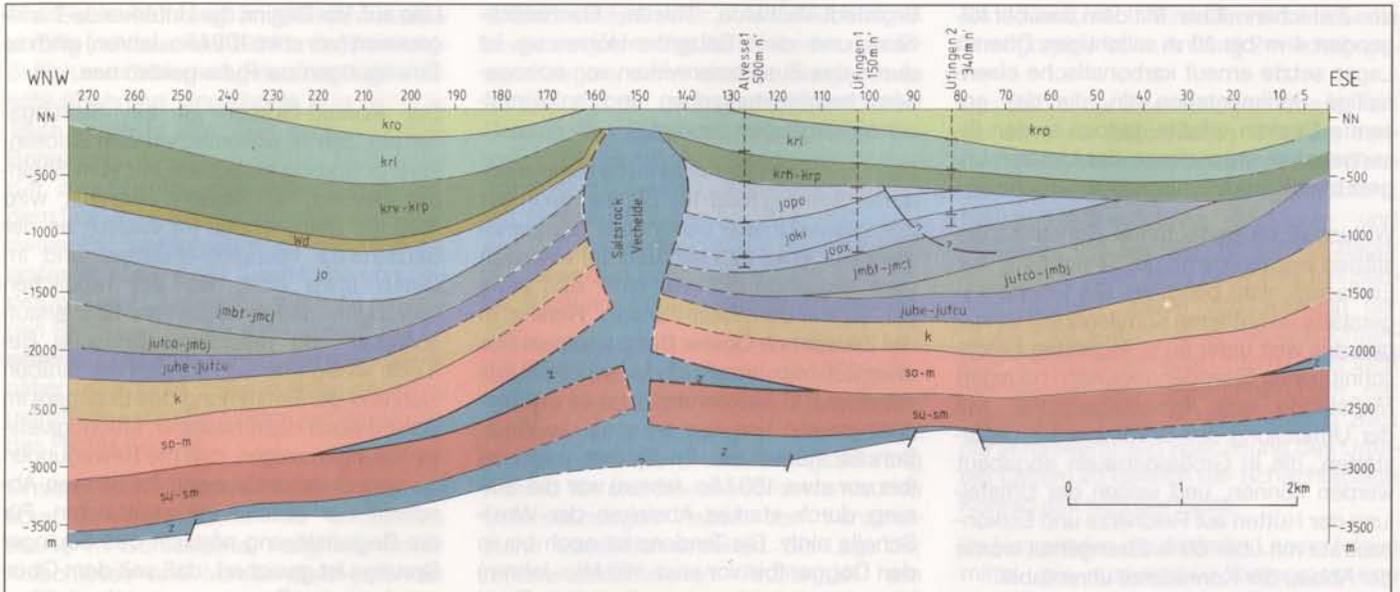
Das älteste Strukturelement ist die Immenendorfer Störung (Bild 14). Sie trennte in der Zeitspanne Unterer bis Mittlerer Buntsandstein (vor etwa 225 Mio Jahren) eine sich stark senkende Ost- von einer sich weniger senkenden West-Scholle. Bereits in der Zeitspanne Oberer Buntsandstein (vor etwa 220 Mio Jahren) bis Muschelkalk (bis vor etwa 210 Mio Jahren) kam es zur Tendenzumkehr. Von nun an sank die West-Scholle stärker ein. Im Keuper und Lias (bis vor etwa 180 Mio Jahren) war die Störung durch starkes Absinken der West-Scholle aktiv. Die Tendenz ist noch bis in den Dogger (bis vor etwa 160 Mio Jahren) hinein nachweisbar, am nördlichen Ende hören die Bewegungen jedoch bereits im

Lias auf. Vor Beginn der Unterkreide-Transgression (vor etwa 100 Mio Jahren) sind die Bewegungen zur Ruhe gekommen.

Der Konrad-Graben ist ein Störungssystem, das im wesentlichen vom Bleckenstedter Sprung im Süden und vom Sauinger Sprung im Norden begrenzt wird (Bild 16). Beide enden im Westen an der Salzstruktur Vechelde-Broistedt und im Osten etwa dort, wo die randlichen Störungen zusammentreffen. Grubenaufschlüsse und reflexionsseismische Befunde weisen darauf hin, daß der Graben während der Entstehung des Erzlagers im Oxford noch nicht bestand. Mächtigkeitsverteilungen zeigen, daß die Bewegungen an den Grabenstörungen im tieferen Abschnitt der Unterkreide stattfanden. Für die Begleitstörung nördlich des Sauinger Sprungs ist gesichert, daß seit dem Oberapt dort keine Bewegungen mehr stattfanden.

Bild 11: Verbreitung des Unteren Eisenerzlagers des Korallenoolith im Bereich der Schachanlage Konrad.





Die Lage aller Profile ist aus Bild 15 ersichtlich.

kro	Oberkreide
krl	Alb
krh – krp	Hauterive – Apt
krv – krp	Valangin – Apt
jopo	Portland
joki	Kimmeridge
joox	Oxford
jmbt – jmcl	Bathonium – Callovium
jutco – jmbj	Obertoarcium – Bajocium
juhe – jutcu	Hettangium – Untertoarcium
k	Keuper
so – m	Oberer Buntsandstein – Muschelkalk
su – sm	Unterer – Mittlerer Buntsandstein
z	Zechstein
S. Spr.	Sauinger Sprung
K.-Spr.	Konradsprung
Bl. Spr.	Bleckenstedter Sprung
I. St.	Immendorfer Störung
Wd	Wealden

Bild 12: Profil 1.

Bild 13: Profil 3.

Bild 14: Profil 5.



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 die

tieferer Unterkreide ist über dem Grubengebäude nirgends geringer als etwa 170 m. Nach Westen nimmt sie auf etwa 270 m, nördlich des Bleckenstedter Sprungs auf fast 400 m zu (Bild 15). Die weitere Überdeckung des Grubengebäudes durch das Alb beträgt im Mindestfall im Osten etwa 210 m. Sie nimmt nach Westen auf maximal 300 m zu. Der Sandhorizont an der Basis des Alb (Hilssandstein) kommt nur über den südlichen Teilen

des Grubengebäudes vor, und zwar in Mächtigkeiten von maximal etwa 5 m.

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.

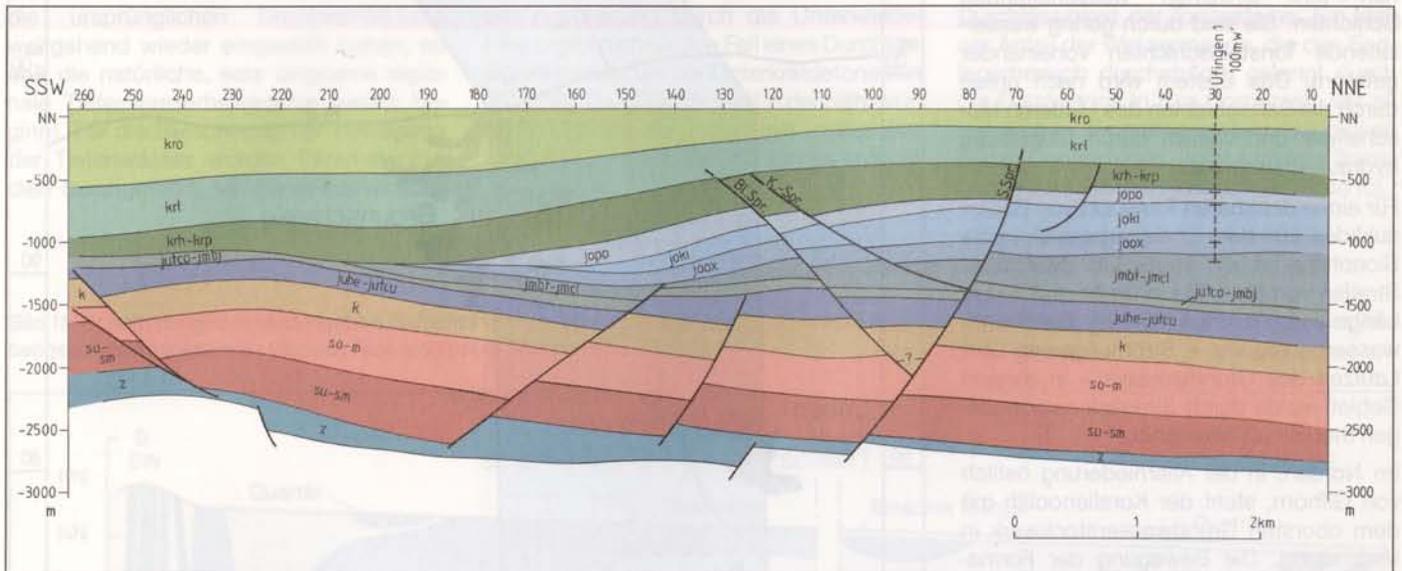
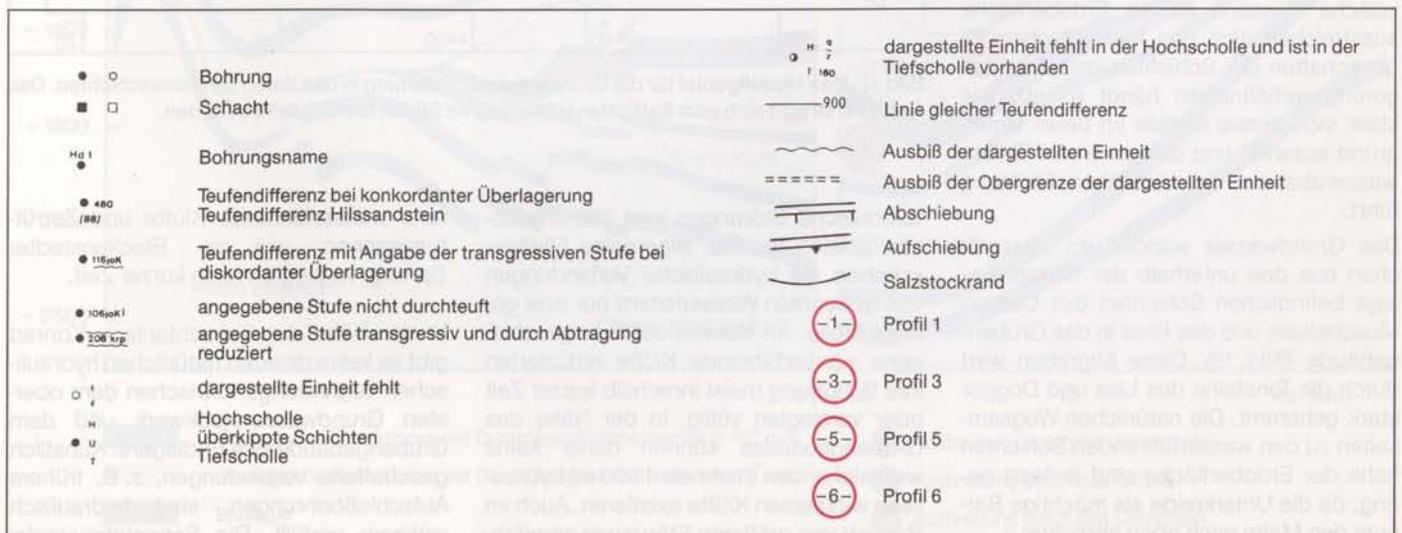


Bild 16: Profil 6. Die Abkürzungen der geologischen Formationsglieder sind auf Seite 15 erklärt.

Bild 15: Teufendifferenzplan Wealden bis Apt.



## 6 ■ Hydrogeologie

Die hydrogeologischen Verhältnisse sind durch einen ausgeprägten Stockwerksbau gekennzeichnet. Das oberflächennahe, örtlich durch den Menschen beeinflusste Grundwasser befindet sich im wesentlichen in Quartärablagerungen und steht mit den örtlichen Vorflutern in hydraulischer Verbindung. Unterhalb von etwa 100 m Tiefe enthält das Grundwasser beträchtliche Mengen gelöster Stoffe. Die tieferen Grundwasserstockwerke bestehen aus einzelnen wasserleitenden Schichten. Sie sind durch gering wasserleitende Tonsteinschichten voneinander getrennt. Das System wird nach unten durch die Salzschiefer des Mittleren Muschelkalk und seitlich durch Salzstöcke hydraulisch begrenzt.

Für einen denkbaren Transport von Radionukliden aus dem Endlagerbereich in die Biosphäre ist ein Nord-Süd gerichteter Streifen von etwa 14 km Breite und 40 km Länge zu betrachten (Bild 17). Die Grundwasserbewegung – Strömungsweg und Laufzeit des Grundwassers – in diesem Gebiet wurde durch Simulationsrechnungen modellhaft berechnet.

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 Einlagerungsbereich 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.

Das Grundwasser wandert im wesentlichen aus den unterhalb der Schachtanlage befindlichen Schichten des Oberen Muschelkalk und des Rhät in das Grubengebäude (Bild 18). Diese Migration wird durch die 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.

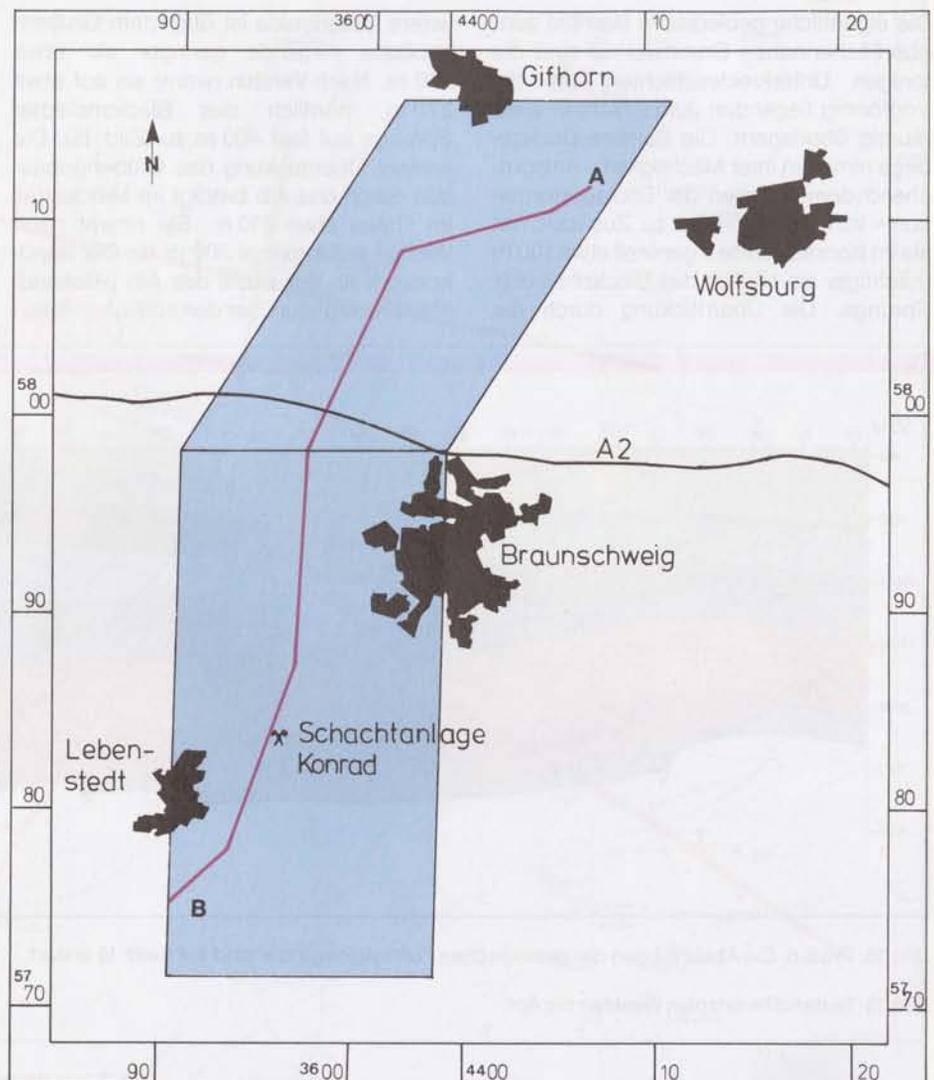


Bild 17: Das Modellgebiet für die Grundwasserausbreitung in den tiefen Gesteinsschichten. Das Gebiet erstreckt sich vom Salzgitter-Höhenzug im Süden bis Gifhorn im Norden.

Tektonische Störungen und Störungszonen spielen für das allgemeine Fließgeschehen als hydraulische Verbindungen von getrennten Wasserleitern nur eine geringe Rolle. Im Korallenoolith angeschlagene 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 angefahr-

rene wasserführende Klüfte und Zerrüttungszonen, wie am Bleckenstedter Sprung, versiegten nach kurzer Zeit.

In der Nähe der Schachtanlage Konrad gibt es keine direkten natürlichen hydraulischen Verbindungen zwischen dem obersten Grundwasserstockwerk und dem Grubengebäude des Endlagers. Künstlich geschaffene Verbindungen, z. B. frühere Aufschlußbohrungen, sind hydraulisch wirksam verfüllt. Die Schachtbauwerke

werden am Ende der Betriebszeit in geeigneter Weise verschlossen.

Während der Betriebszeit des Endlagers ist die Gefahr eines unbeherrschbaren Wasserzutritts aufgrund der bisherigen Erfahrung über die geringe Menge der im Grubengebäude angeschlagenen Wasser 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 Parameterstudien durchgeführt. Mit Parametervariatio-

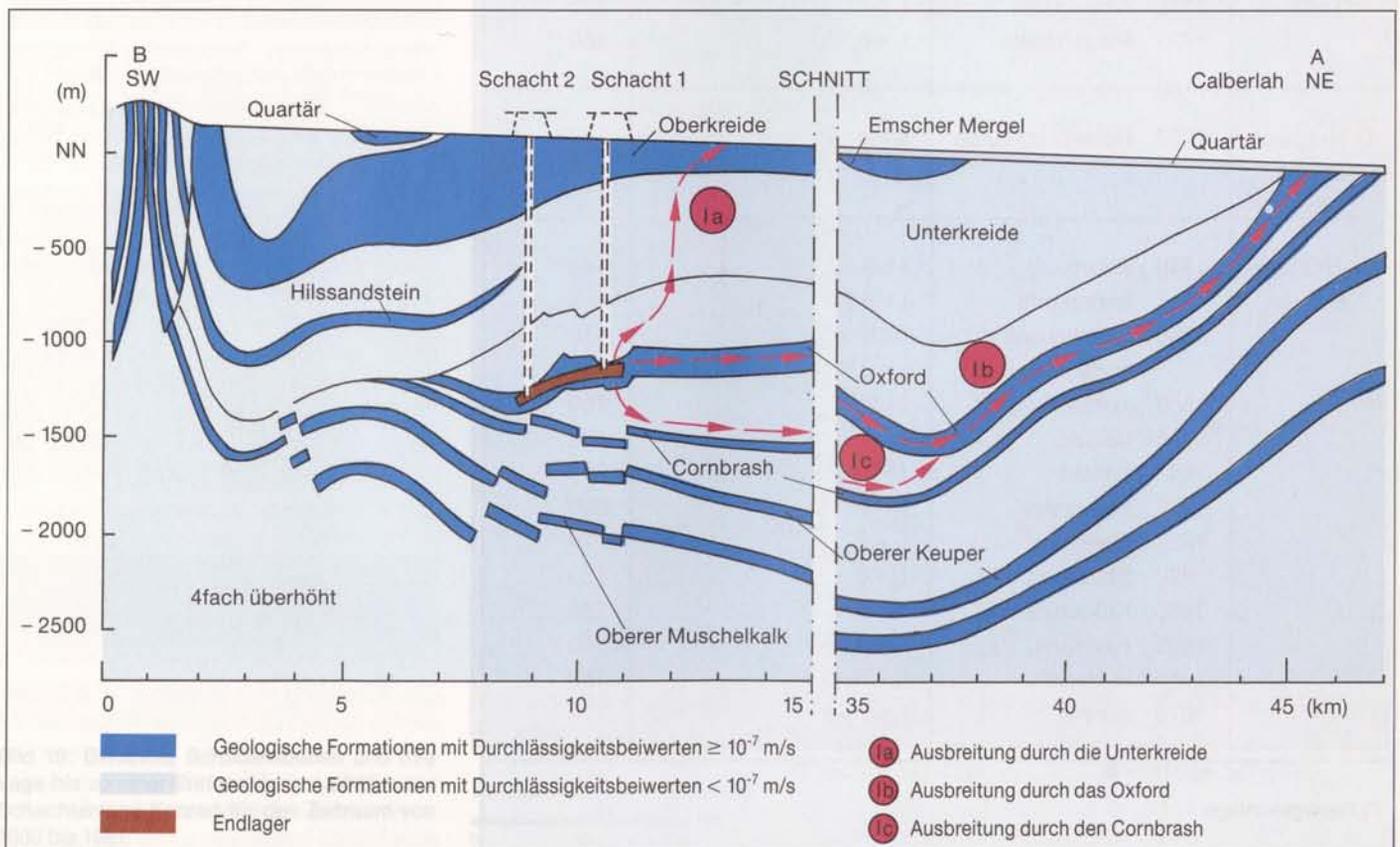
nen wurden verschiedene Anbindungen von Schichten und Einflüsse geologischer Störungen untersucht. Es zeigt sich, daß vom Grubengebäude ausgehende Wasserpfade die Biosphäre je nach den zugrunde gelegten Durchlässigkeitsbeiwerten für die Unterkreide an unterschiedlichen Stellen erreichen. In Bild 18 sind die Wege als „Unterkreide-Pfad“ (Pfad Ia), „Oxford-Pfad“ (Pfad Ib) und „Cornbrash-Pfad“ (Pfad Ic) bezeichnet.

Die Ausbreitung durch die Unterkreide ergibt sich für den Fall eines Durchlässigkeitsbeiwertes der Unterkreidetone von  $10^{-10}$  m/s. Das Quartär wird in der Nähe von Groß Gleidungen nach einer minimalen Laufzeit von etwa 430000 Jahren erreicht (Pfad Ia).

Die Ausbreitung durch das Oxford ergibt sich für den Fall eines Durchlässigkeitsbeiwertes der tonigen Unterkreidegesteine von  $10^{-12}$  m/s. Der Ausbreitungsweg ist mit 33 km deutlich länger. Der oberflächennahe Grundwasserleiter wird in der Gegend von Calberlah nach einer minimalen Laufzeit von etwa 300000 Jahren erreicht (Pfad Ib).

Die Ausbreitung durch den Cornbrash ergibt sich ebenfalls bei einer geringeren Durchlässigkeit der Tongesteine. Ein kleiner Anteil der Wassermenge, die den Endlagerbereich durchströmt, gelangt durch die Doggertone in den Cornbrash. Vor allem wegen der geringen Geschwindigkeit in den Doggertonen ergibt sich eine Transportzeit von etwa 1,1 Mio Jahren (Pfad Ic).

Bild 18: Schnitt durch das Modellgebiet. Schichten höherer Durchlässigkeit sind dunkelblau gezeichnet. Die nach den Modellrechnungen vom Grubengebäude ausgehenden Wasserpfade sind mit Ia, Ib und Ic bezeichnet.



## 7. Gebirgsmechanik und Seismik

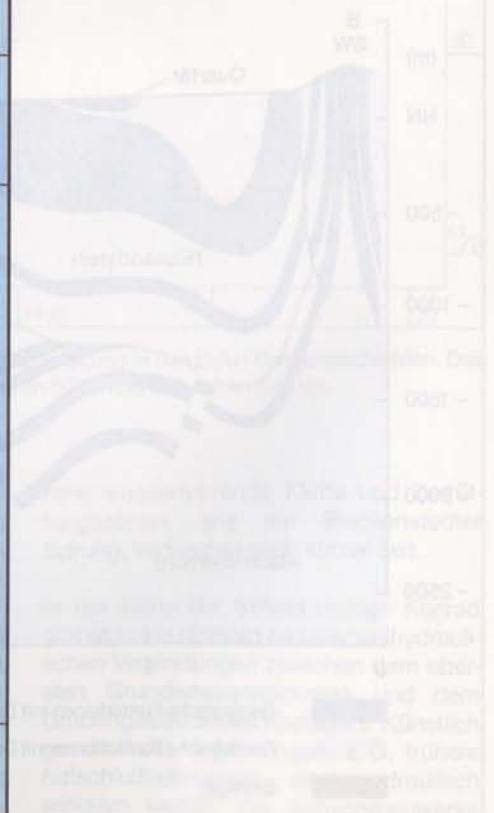
Die gebirgsmechanische Beurteilung der Schachanlage Konrad fußt auf zahlreichen Messungen und Beobachtungen sowie bergmännischen Erfahrungen. Übermäßige Senkungsschäden sind bisher nicht aufgetreten und aus den bisherigen Erfahrungen bei der Hohlraumauffahrung auch in Zukunft nicht zu erwarten. Abhängig vom Durchbaugrad treten unmittelbar nach der Hohlraumerstellung unterschiedlich große Konvergenzen auf, die

mit der Zeit logarithmisch abnehmen. Die Wirksamkeit der für die Schachanlage Konrad festgelegten Ausbauregeln hat sich in der Vergangenheit bestätigt. Die Standfestigkeit des Grubengebäudes Konrad in seinem jetzigen Zustand ist nicht in Frage gestellt. Nach Einrichtung des Endlagers Konrad sind nach gebirgsmechanischen Vorausberechnungen und bergmännischer Erfahrung keine nennenswerten Schäden an übermäßigen Anlagen

zu erwarten; auch die Einwirkungen auf die Schächte sind gering und nicht stabilitätsgefährdend. Das Deckgebirge wird homogenen Verformungen ausgesetzt, die einem Endwert zustreben. Bei dem geplanten Kammer-Festen-Verhältnis ist unter den betrachteten geologischen Verhältnissen die Tragfähigkeit der Festen gewährleistet.

Region	Jahr	Epizentrum oder Ort der Meldung	Epizentralintensität $I_0$ oder Intensität $I$ am Ort der Meldung (MSK)	Entfernung in km
A. Norddeutsches Tiefland	1323	Lüneburg	$I_0 = 7$	120
	1410	Wittstock	$I_0 = 7$	150
	1770	Alfhausen	$I_0 = 7$	170
	1789	Plaue/Havel	$I_0 = 6$	180
B. Hessische Straße	1767	Rotenburg/Fulda	$I_0 = 6 - 7$	140
C. Thüringer Becken	1346	Erfurt	$I < 6$	140
		andernorts	$I > 8 ?$	
	1366	Mühlhausen	$I < 6$	110
		andernorts	$I > 6 ?$	
	1553	Torgau/Leipzig	$I = 8$	160
	1711	Leipzig	$I = 6$	160
	1847	Eisfeld	$I = 6 - 7$	200
	1872	Posterstein	$I_0 = 8$	200
	1894	Eisleben	$I_0 = 8$	110
	1926	Stadtroda	$I_0 = 6$	180
	1940	Krügershall*	$I_0 = 8$	130
	1953	Heringen*	$I_0 = 8$	150
1958	Merkers*	$I_0 = 7 - 8$	150	
1975	Sünna*	$I_0 = 7 - 8$	170	

\*) Gebirgsschläge



Tektonische Beben, die Schäden verursachen, sind in der Zone „Norddeutsches Tiefland“, in der der Standort der Schachtanlage Konrad liegt, sehr selten. Das bedeutendste Erdbeben ereignete sich am 23. 8. 1410 in der Prignitz mit der Intensität VII (Bild 19). Wegen des großen Schütterraadius von etwa 180 km muß es tektonischen Ursprungs gewesen sein. Ein zweites tektonisches Schadboden, ebenfalls mit der Intensität VII, erschütterte am 3. 9. 1770

das Gebiet um Alfhausen. Das Erdbeben vom 2. 6. 1977 bei Soltau mit der Intensität V bis VI ist das erste im norddeutschen Flachland, das dort seit Beginn der instrumentellen Erdbebenaufzeichnung beobachtet worden ist.

Voraussetzung für Einsturzbeben großer Schadenswirkung sind ausgedehnte Hohlräume in geringer Tiefe und das gleichzeitige Zubruchgehen großflächiger Bereiche

(1 km<sup>2</sup> und mehr) des Hangenden. Am nächstgelegenen Salzstock Broistedt lassen sich die erforderlichen Hohlräume wegen seiner flachen Überdeckung mit nachgiebigen tertiären und quartären Sedimenten nicht aufbauen. Eine Gefährdung des Standortes durch stärkere Einsturzbeben über anderen Salzstöcken ist wegen der größeren Entfernung nicht gegeben.

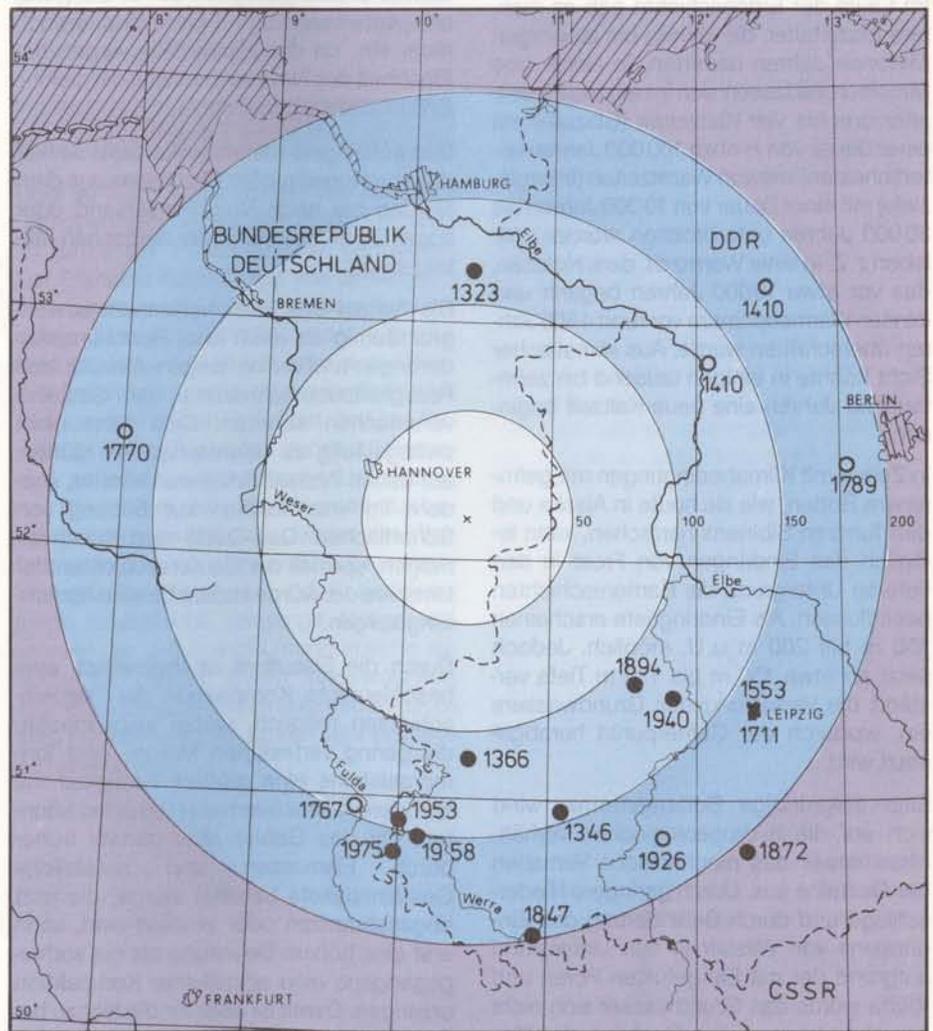


Bild 19: Bekannte Schadensbeben und ihre Lage bis zu einer Entfernung von 200 km zur Schachtanlage Konrad für den Zeitraum von 1000 bis 1981.



○ leichte Schäden ● kräftige Schäden

## 8. Geologische Langzeitprognose

Aussagen über mögliche zukünftige geologische Ereignisse beruhen auf der Kenntnis von Vorgängen, die sich in der geologischen Vergangenheit bis in die Gegenwart hinein abgespielt haben. Es werden solche geologischen Ereignisse deterministisch untersucht, die aufgrund ihres möglichen zukünftigen Auftretens oder aus der bisherigen Entwicklung am Standort Konrad einen Einfluß auf die Sicherheit des Endlagers besitzen können.

### Eiszeiten

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 Jahren bis 30 000 Jahren unterbrochen wurden. Wir leben z. Z. in einer Warmzeit, dem Holozän, das vor etwa 10 000 Jahren begann und dessen Wärmeoptimum 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 m bis 200 m u. U. möglich. Jedoch setzt ab etwa 130 m bis 170 m Tiefe verstärkt die Versalzung des Grundwassers ein, wodurch der Gefrierpunkt herabgesetzt wird.

Eine tiefgründige Bodengefrorenis 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 aufgrund 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 Gebir-

ges bzw. Aufweitung von bestehenden Klüften hervorgerufen werden, die beim Auftauen des Bodens zu erhöhten Durchlässigkeiten führen könnte. Diese Vorgänge sind aber nur in den oberen Bereichen zu erwarten, da die mit der Tiefe zunehmende Gesteinsauflast einen entsprechenden Gegendruck ausübt, dem sich das Eis durch Fließverformungen 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 Glaziale 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 u. U. eine Festigkeitsüberschreitung der Gesteine verursachen könnten. Dies 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 Eisaflast 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 ist aber für die hier zu betrachtende Zukunft nicht zu rechnen.

Beim Vordringen des Eises wird zunächst der Untergrund flächenhaft bis zu wenigen

zehner Metern abgetragen; dieser Schutt findet sich in den Grund- und Endmoränen wieder. Lokal können durch das Eis selbst oder in Zusammenarbeit mit Schmelzwässern tiefere Hohlformen entstehen (Zungenbecken, subglaziale Rinnen). In der Umgebung der Schachanlage Konrad wurden quartäre Vertiefungen bis zu etwa 100 m unter Geländeoberfläche festgestellt, die sich jedoch z. T. auch als Subrosionssenken über den benachbarten Salzstöcken deuten lassen. Subglaziale Rinnen mit Tiefen von mehr als 200 m unter NN werden nur nördlich einer 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 Barrierengesteine lassen daher eine Gefährdung des Endlagers nicht erwarten.

Eine Erwärmung und eine Verschiebung der Klimazonen durch anthropogene Einflüsse (Glashauseffekt) würden sich im wesentlichen auf die hydrologischen Verhältnisse auswirken. Trockeneres Klima bzw. höhere Verdunstungsraten ziehen geringere Grundwasserneubildungsraten nach sich, wodurch die Grundwasserbewegungen verlangsamt würden.

Durch weltweit höhere Jahrestemperaturen würden die heute noch als Inlandeis gebundenen Wassermassen freigesetzt und dadurch der Meeresspiegel um etwa 75 m erhöht. Während für die oberflächennahen Grundwasserleiter keine entscheidenden Änderungen eintreten, wären für die tieferen Grundwasserstockwerke aufgrund geänderter Druckverhältnisse geringere Fließgeschwindigkeiten zu erwarten.

### Abtragung und epirogene Bewegungen

Die Abtragung von Gesteinen und Boden wird in flachen bis hügeligen Gegenden im wesentlichen durch die Transportmedien Wasser, Luft und Eis verursacht, wobei in unserem Gebiet letzteres auf die Eiszeiten beschränkt bleibt.

Legt man eine für norddeutsche Verhältnisse hohe flächige Abtragung von 0,1 mm/a zugrunde und rechnet sie auf 100 000 Jahre hoch, so würde eine Gesteinsschicht von 10 m abgetragen. Die Abtragung kann bis auf das Meeresniveau erfolgen, wobei die Geschwindigkeit der Denudation wegen der geringer werdenden Reliefenergie bis dahin ständig abnehmen würde. Nur eine Heraushebung der Region um den Standort Konrad würde die Abtragung weiterhin aufrechterhalten.

Bei möglichen epirogenen Hebungen von 0,1 mm/a würde das Gelände in 100 000 Jahren um 10 m aufsteigen. Die Unterkreidebarriere über dem Endlager in Teufen über 100 m würde bei einer Abtragung in der gleichen Größenordnung erst zu einem wesentlich späteren Zeitpunkt angeschnitten werden.

### Einflüsse der benachbarten Salzstrukturen auf das geplante Endlager

Die Schachanlage Konrad liegt zwischen der Salzstruktur Broistedt-Vechelde im Westen und dem Salzstock Thiede im Osten.

Stärkere Salznachschübe in diese Strukturen lassen sich noch bis in die Oberkreide nachweisen; mit geringen Bewegungen ist auch bis in die Gegenwart zu rechnen. Die Aufstiegsgeschwindigkeiten in der Nachdiapirphase betragen maximal wenige hundertstel Millimeter pro Jahr. Unterhalb des geplanten Endlagers befinden sich nur noch immobile Zechsteinsalzreste sowie die jeweils etwa 100 m mächtigen Salzfolgen des Oberen Buntsandstein und des Mittleren Muschelkalk, die keine Anzeichen einer Salzbewegung 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.

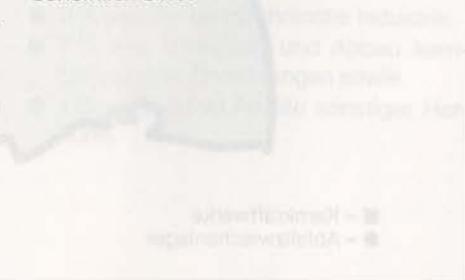
Salzstöcke sind, besonders wenn sie bis nahe an die Oberfläche aufgestiegen und mit permeablen Sedimenten bedeckt sind, der Subrosion ausgesetzt. Geologisch

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 anhaltenden 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 bei den möglichen Subrosionsraten erhalten.

### Magmatismus

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 (z. B. 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 ungewöhnlich starke tektonische Ereignisse in den nächsten hunderttausend Jahren sehr unwahrscheinlich sind.



## 9. Radioaktive Abfälle

Fast alle der von 1967 bis 1978 angefallenen radioaktiven Abfälle sind im Rahmen von Versuchs- und Demonstrationsprogrammen in der Schachanlage Asse endgelagert worden. Seitdem werden in der Bundesrepublik Deutschland sämtliche radioaktiven Abfälle oberirdisch zwischengelagert (Bild 20). Radioaktive Abfälle fallen an

- beim Betrieb der Wiederaufarbeitungsanlage in Karlsruhe, der in der Planung befindlichen Anlage in Wackersdorf und in den Anlagen des europäischen Auslandes (British Nuclear Fuel Ltd., BNFL, und Compangie Generale des Matieres Nucleaires, COGEMA), in denen verbrauchte Brennelemente aus deutschen Kernkraftwerken wiederaufgearbeitet werden;
- beim Betrieb von Leichtwasserreaktoren (Druckwasser- und Siedewasserreaktoren) und von Reaktoren fortgeschrittener Baulinien (z. B. Hochtemperaturreaktoren);
- bei der Grundlagenforschung und der angewandten Forschung in Großforschungseinrichtungen;
- in sonstigen Forschungseinrichtungen, Universitäten, Industriebetrieben, Krankenhäusern oder Arztpraxen (Anmerkung: diese Abfälle werden i. a. an Landessammelstellen abgegeben);
- in der kerntechnischen Industrie bei der Urananreicherung, der Herstellung von Brennelementen sowie bei industriellen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten;
- bei der Stilllegung von Reaktoren der Elektrizitätsversorgungsunternehmen, von Forschungs-, Materialprüf- und Unterrichtsreaktoren sowie von Anlagen des Kernbrennstoffkreislaufs und
- bei sonstigen Abfallverursachern.

Bei den insgesamt anfallenden radioaktiven Abfällen wird unterschieden zwischen wärmeentwickelnden Abfällen wie

- Spaltproduktkonzentraten,
- Hülsen und Strukturteilen,
- Feedklärschlämmen

und Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung, zu denen die folgenden Abfallarten (Rohabfälle) zählen:



Bild 20: Radioaktive Abfälle lagern in Großforschungseinrichtungen, Kernkraftwerken, Landessammelstellen und Zwischenlagern.

- Flüssigkeiten, Konzentrate und Schlämme,
- Ionenaustauscherharze,
- kompaktierbare und/oder brennbare Feststoffe,
- formbeständige Feststoffe,
- Filter und Filterkerzen,
- Aschen, Pulver und Granulate,
- Schrott, Isoliermaterialien, Bauschutt und kontaminiertes Erdreich und
- sonstige Abfallarten.

In der Schachtanlage Konrad sollen nur solche radioaktiven Abfälle endgelagert werden, deren Wärmeentwicklung vernachlässigbar ist.

Derzeit wird für die Fixierung radioaktiver Abfälle in den meisten Fällen Zement oder Beton verwendet. Mit dem Ziel, ihr Volumen bei der Konditionierung zu verringern und so die Anzahl der endzulagernden Abfallgebinde zu reduzieren, sind neue Konditionierungsverfahren entwickelt worden. Bei diesen Verfahren werden radioaktive Abfälle z.B. mit Hochdruckpressen kompaktiert (Bild 21), unfixiert in dickwandigen Gußbehältern verpackt oder zu Konzentraten in einem Gußbehälter eingedampft. Die in den letzten Jahren mit den modernen Konditionierungstechniken gesammelten Erfahrungen lassen erwarten, daß diese zukünftig in einem noch stärkeren Maße angewendet werden.

Im Auftrag des BMU führt die PTB eine jährliche Erhebung der in der Bundesrepublik Deutschland angefallenen radioaktiven Abfallmengen durch. Im Rahmen dieser Abfrage wird der Bestand an konditionierten radioaktiven Abfällen verursacher- und anlagenspezifisch ermittelt. Der Bestand an zwischengelagerten Abfallgebinden belief sich am 31. Dezember 1986 auf etwa 67 600 Stück. Der Vergleich des Gebindeanfalls im Jahre 1986 und im Folgejahr (Schätzwert für 1987) zeigt eine Abnahme des Anteils von radioaktiven Abfällen, die in 200-l-Fässern verpackt sind. Statt dessen werden zunehmend Beton- und Gußbehälter sowie Container als Abfallbehälter verwendet. In dieser Tendenz kommen u. a. die Bemühungen der Abfallanlieferer zur Volumenreduzierung bei der Konditionierung radioaktiver Abfälle zum Ausdruck.



Bild 21: Mobile Hochdruckpresse zur Kompaktierung radioaktiver Abfälle.

Auf der Basis von Angaben, die der PTB von den Ablieferungspflichtigen vorgelegt worden sind, ist der zukünftige Anfall an konditionierten radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung bis zum Jahre 2000 prognostiziert worden. Im Jahre 2000 wird sich diese Menge nach der Erhebung für 1986 auf etwa 220 000 m<sup>3</sup> belaufen und wie folgt aufschlüsseln:

- 34 % aus der Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen,
- 39 % aus dem Betrieb von Kernkraftwerken,
- 2 % aus den Landessammelstellen,
- 20 % aus den Großforschungseinrichtungen,
- 2 % aus der kerntechnische Industrie,
- 2 % aus Stilllegung und Abbau kerntechnischer Einrichtungen sowie
- 1 % radioaktive Abfälle sonstiger Herkunft.

# 10. Abfallbehälter

Voraussetzung für eine einfache Handhabung und somit einen reibungslosen Einlagerungsablauf ist ein auf die sicherheitstechnischen und betrieblichen Belange des Endlagers abgestimmtes System standardisierter Abfallbehälter. Für die Endlagerung in der Schachtanlage Konrad sind insgesamt 12 Behältertypen/Verpackungen vorgesehen, siehe Tabelle 1. Sie berücksichtigen in Form und Abmessungen die Randbedingungen für die Handhabung und Einlagerung in der Schachtanlage Konrad. Dabei wird zwischen 3 Grundtypen unterschieden:

- zylindrische Betonbehälter,
- zylindrische Gußbehälter und
- Container.

Betonbehälter sind armierte, zylindrische Behälter aus Normal- oder Schwerbeton (Bild 22). Bei ihrer Verwendung wird in der Regel ein mit fixiertem radioaktiven Abfall gefüllter Innenbehälter (z.B. ein 200-l- oder 400-l-Faß) in den zylinderförmigen Innenraum des Betonbehälters eingesetzt und der verbleibende Ringspalt einschließlich Kopfbereich mit Beton vergossen. Zum Verschließen werden eingepreßte, armierte Betondeckel verwendet, die mit dem Behälterkörper vergossen und verschraubt werden.

Gußbehälter in zylindrischer Ausführung werden für die Verpackung von meist unfixierten radioaktiven Abfällen verwendet

Bild 22: Zylindrische Betonbehälter (hier Typ I) dienen z. B. der Verpackung von zementierten Dekontaminationsflüssigkeiten.



Nr.	Bezeichnung	Außenabmessungen			Bruttovolumen m <sup>3</sup>
		Länge/Durchm. mm	Breite mm	Höhe mm	
01.	Betonbehälter Typ I	1060	–	1370 <sup>1)</sup>	1,2
02.	Betonbehälter Typ II	1060	–	1510 <sup>2)</sup>	1,3
03.	Betonbehälter Typ III	1400	–	2000	3,1
04.	Gußbehälter Typ I	900	–	1150	0,7
05.	Gußbehälter Typ II	1060	–	1500 <sup>3)</sup>	1,3
06.	Gußbehälter Typ III	1000	–	1240	1,0
07.	Container Typ I	1600	1700	1450 <sup>4)</sup>	3,9
08.	Container Typ II	1600	1700	1700	4,6
09.	Container Typ III	3000	1700	1700	8,7
10.	Container Typ IV	3000	1700	1450 <sup>4)</sup>	7,4
11.	Container Typ V	3200	2000	1700	10,9
12.	Container Typ VI	1600	2000	1700	5,4

<sup>1)</sup> Höhe 1370 mm + Lasche von 90 mm = 1460 mm      <sup>3)</sup> Höhe 1370 mm beim Typ KfK  
<sup>2)</sup> Höhe 1510 mm + Lasche von 90 mm = 1600 mm      <sup>4)</sup> Stapelhöhe 1400 mm beim Typ KfK

Tabelle 1: Standardisierte Abfallbehälter für die Schachtanlage Konrad.

Bild 23: Zylindrische Gußbehälter (hier Typ II) können z. B. für die Verpackung von unfixierten aktivierten oder kontaminierten Metallteilen verwendet werden.



(Bild 23). Sie werden aus Gußwerkstoff (z.B. GGG 40) hergestellt. Die Gußbehältertypen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Abmessungen und Wandstärken sowie der konstruktiven Ausführungen im Deckelbereich. Die Deckel aller Gußbehältertypen werden ebenfalls aus Gußwerkstoff hergestellt und mit dem Behälterkörper verschraubt bzw. verschweißt.

Container sind quaderförmige großvolumige Behälter aus Stahlblech, armiertem Beton oder Gußwerkstoff (Bild 24, 25 und 25 a). Je nach Abfallprodukt werden unterschiedliche Containertypen verwendet, die sich hinsichtlich ihrer konstruktiven Ausführungen, Abmessungen und Wandstärken unterscheiden. Die Containerdeckel sind z.B. mit dem Behälterkörper verschraubt oder durch Zuganker arretiert. Der größte Container kann bis zu 28 Stück 200-l-Fässer aufnehmen.



Bild 25: Container Typ V mit Faßgreifer.

Bild 24: Ein Zwischenlager mit 200-l-Fässern im Kernforschungszentrum Karlsruhe. In Fässern verpackte radioaktive Abfälle sollen in Containern endgelagert werden, die bis zu 28 Stück 200-l-Fässer aufnehmen können (rechts unten).



Bild 25a: Container (hier Typ V) können auch direkt mit Abfallprodukten befüllt werden.



# 11. Geplanter Einlagerungsablauf

Im Zuge der Planungen für die Nutzung des ehemaligen Eisenerzbergwerks Konrad als Endlager für radioaktive Abfälle zeigte sich, daß die Verlegung des konventionellen Bergwerksbetriebes einerseits und der Abfallgebindeeinlagerung andererseits auf zwei getrennte Schächte wesentliche sicherheitstechnische und organisatorische Vorteile bietet. Aus diesem Grunde wird Schacht Konrad 1 weiterhin für die Haufwerks- und Materialförderung sowie zur Seilfahrt genutzt. Am Schacht Konrad 2 werden völlig neue Tagesanlagen

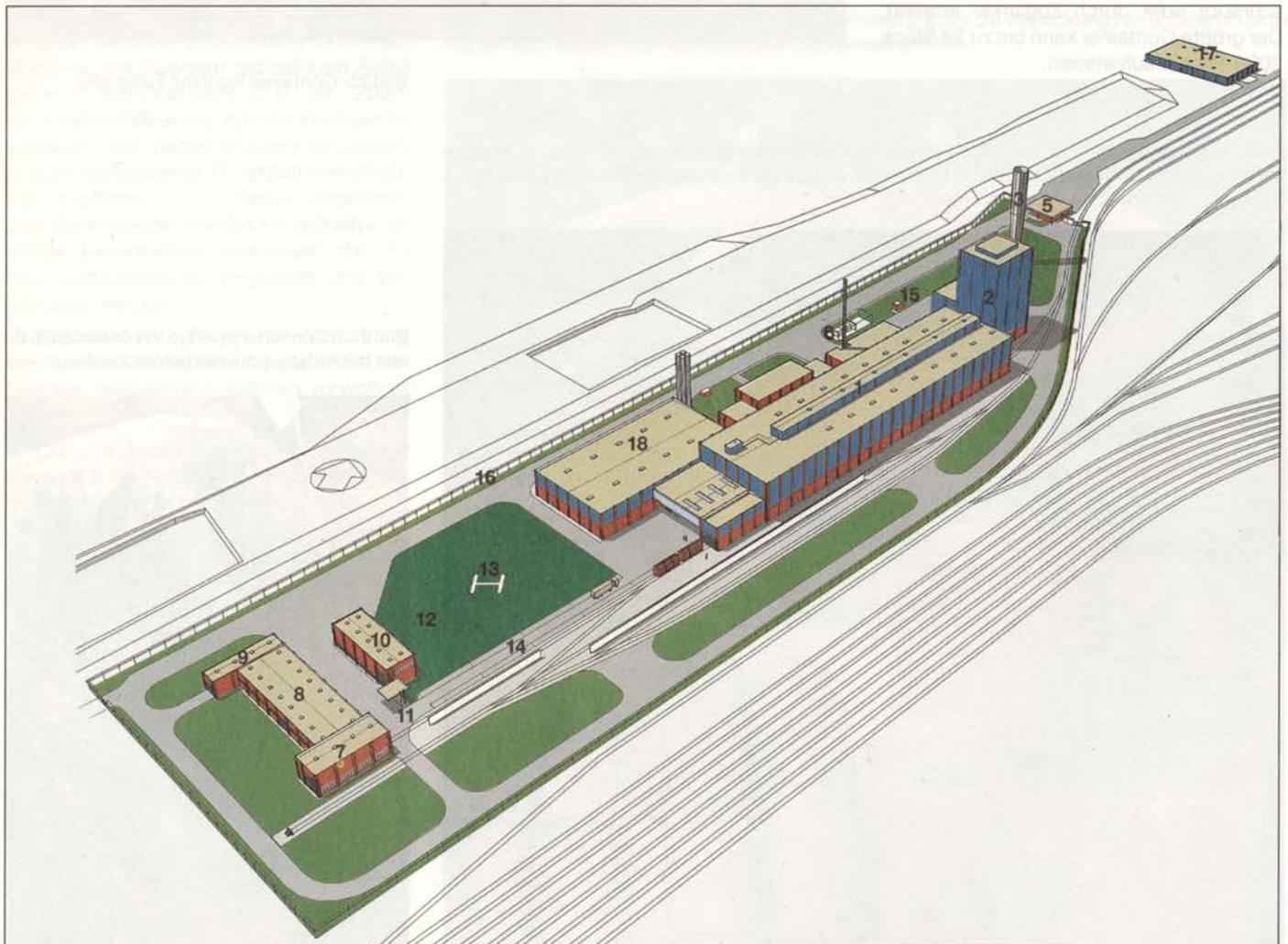
errichtet, um die Abfallgebände mit Massen bis zu 20t nach unter Tage transportieren zu können (Bild 26).

Durch diese Aufgabenteilung können Abfallgebändetransporte und Haufwerkförderung unter Tage in voneinander getrennten Strecken durchgeführt werden (Bild 27). Die Einlagerung der radioaktiven Abfälle über den ausziehenden Wetterschacht hat den Vorteil, daß bei einem denkbaren Störfall Kontamination mit den Wettern nicht in den Teil der Grube verschleppt werden

kann, in dem Strecken oder Kammern aufgefahen werden. Kontrollbereich ist unter Tage somit nur der Teil des Grubengebäudes, in dem der Einlagerungsbetrieb durchgeführt wird.

Der Schacht Konrad 2 erhält eine Turmförderanlage, die als einrümige Gestellförderung mit Großförderkorb und Gegengewicht betrieben wird. Sie ist für eine Nutzlast von 25t und eine Fördergeschwindigkeit von max. 12 m/s ausgelegt. Als Fördermaschine dient eine Achtseil-Koepema-

Bild 26: Die geplanten Tagesanlagen am Schacht Konrad 2. 1 Umladeanlage, 2 Förderturm mit Schachthalle, 3 Lüftergebäude mit Diffusor und Abwetterkanal, 5 Wachgebäude, 6 Freilufttrafo-Anlage, 7 Lokschuppen, 8 Lager und Werkstatt, 9 Friktionswinde, 10 Ersatzfördermittel, Gabelstapler und Garage, 11 Dieseltankstelle, 12 Bereitstellfläche, 13 Hubschrauberlandemöglichkeit, 14 Lkw-Parkplätze, 15 Grubenwasser-Übergabestation, 16 Zaun, 17 Pkw-Unterstellhalle, 18 Pufferhalle.



schine, die direkt von einem Elektromotor angetrieben wird.

Die Abfallgebilde werden als Transporteinheiten auf Waggons oder Lastkraftwagen angeliefert. Eine Transporteinheit besteht aus einem Container oder einer Tauschpalette mit bis zu drei zylindrischen Gebinden.

Für den Antransport der Abfallgebilde sind die Abfallverursacher verantwortlich. Ihnen obliegt daher auch die Wahl des Transportmittels. Da die meisten der etwa 50 Abfallverursacher über einen Gleisanschluß verfügen, wird die überwiegende Anzahl der Transporte voraussichtlich auf der Schiene erfolgen. Um das Verkehrsaufkommen und die Handhabungsvorgänge abschätzen zu können, wurden im Rahmen der Planungen folgende Varianten betrachtet:

Variante 1: 100 % Bahnlieferung

Variante 2: 50 % Bahnlieferung  
50 % Lkw-Anlieferung

Bei Variante 1 ergibt sich ein Transportaufkommen von 9 Waggons mit je 2 Transporteinheiten je Schicht und Tag im Jahresmittel. Bei Variante 2 werden die radioaktiven Abfälle mit 9 Lkw mit je 1 Transporteinheit und 4 Waggons mit je 2 Transporteinheiten je Schicht und Tag im Jahresmittel angeliefert. Da ein Lkw bis zu 3 Transporteinheiten und ein Waggon bis zu 7 Transporteinheiten aufnehmen kann, wird die tatsächliche Zahl der Transporte niedriger sein.

Die Deutsche Bundesbahn liefert die Transporteinheiten in geschlossenen Waggons bis zum Übergabebahnhof Beddingen, wo die Verkehrsbetriebe Peine-Salzgitter GmbH den Transport bis zum Puffergleis am Schacht Konrad 2 übernehmen. Dort steht ein Rangierfahrzeug für den Weitertransport von bis zu 3 Waggons gleichzeitig durch die Waggontrocknungsanlage in die Umladehalle bereit.

Lkw erreichen den Schacht Konrad 2 von Norden über die Zufahrtsstraße. Sie fahren nach der Kontrolle entweder direkt durch die Lkw-Trocknungsanlage in die Umladehalle oder zum Lkw-Parkplatz auf dem Schachtgelände. In den Trocknungsanlagen werden die Lkw oder Waggons bei Be-

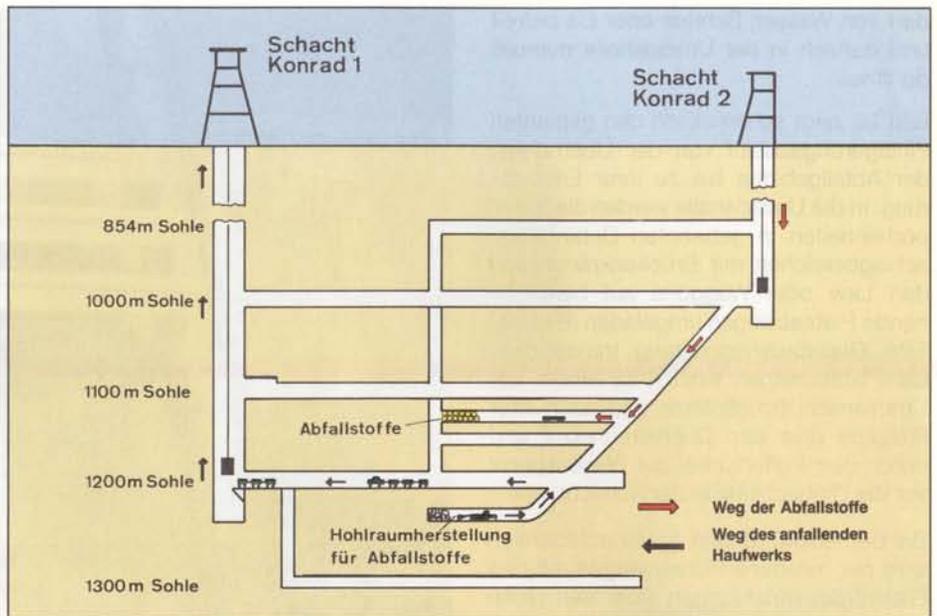
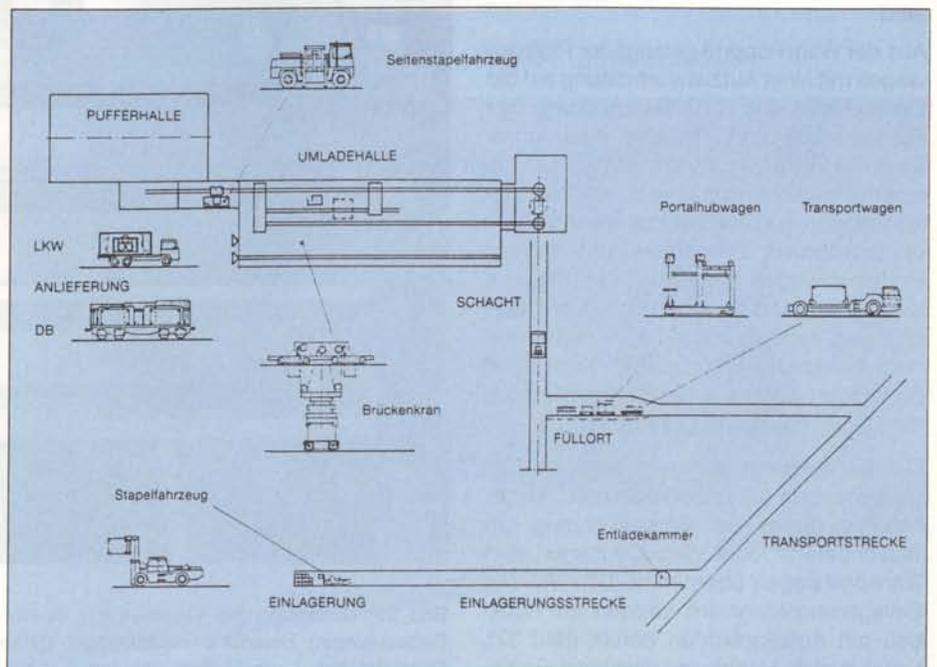


Bild 27: Schema des geplanten Grubenbetriebs.

Bild 28: Schema des geplanten Einlagerungsablaufs.



darf von Wasser, Schnee oder Eis befreit und danach in der Umladehalle manuell geöffnet.

Bild 28 zeigt schematisch den geplanten Einlagerungsablauf von der Übernahme der Abfallgebände bis zu ihrer Endlagerung. In der Umladehalle werden die Transporteinheiten in getrennten Gebindeumschlagbereichen mit Brückenkränen von den Lkw oder Waggonen auf bereitstehende Plateauwagen umgeladen (Bild 29). Eine Gleisfördereinrichtung transportiert die Plateauwagen einzeln zu einem der Strahlenschutzmeßplätze und nach ihrer Freigabe über den Querverschub 2 und durch den Puffertunnel zur Wagensperre vor der Drehscheibe in der Schachthalle.

Bei Betriebsstörungen im Schachtbereich wird der beladene Plateauwagen mit den Gleisfördereinrichtungen über den Querverschub 1 zur Umladeposition in der Pufferhalle transportiert (Bild 30). Ein Seitenstapelfahrzeug nimmt die Transporteinheit vom Plateauwagen und setzt sie in der Pufferhalle ab. Zum Abtransport aus der Pufferhalle übernimmt das Seitenstapelfahrzeug die Transporteinheit und setzt sie auf einem leeren Plateauwagen ab, der mit den Gleisfördereinrichtungen zur Wagensperre vor der Drehscheibe transportiert wird.

Aus der Wagensperre gelangt der Plateauwagen mit einer Aufziehvorrichtung auf die Drehscheibe und nach Beschickung des Förderkorbes und Freigabe nach unter Tage. Im Füllort angekommen, wird er mit einem Positionsmanipulator vom Förderkorb abgezogen und zur Entladung im Füllort positioniert. Ein schienengebundener Portalhubwagen fährt über den Plateauwagen, hebt die Transporteinheit an, fährt über den Transportwagen und setzt sie auf dem Transportwagen ab. Mit dem Transportwagen gelangen die Transporteinheiten zu den Einlagerungskammern.

Die Einlagerungskammern sind im Eingangsbereich mit Entladekammern versehen, in denen ein Stapelfahrzeug die Tauschpalette oder den Container vom Transportwagen übernimmt (Bild 31). Die Einlagerungskammern werden im Rückbau mit Abfallgebänden befüllt (Bild 32). Verbleibende Hohlräume zwischen Gebin-

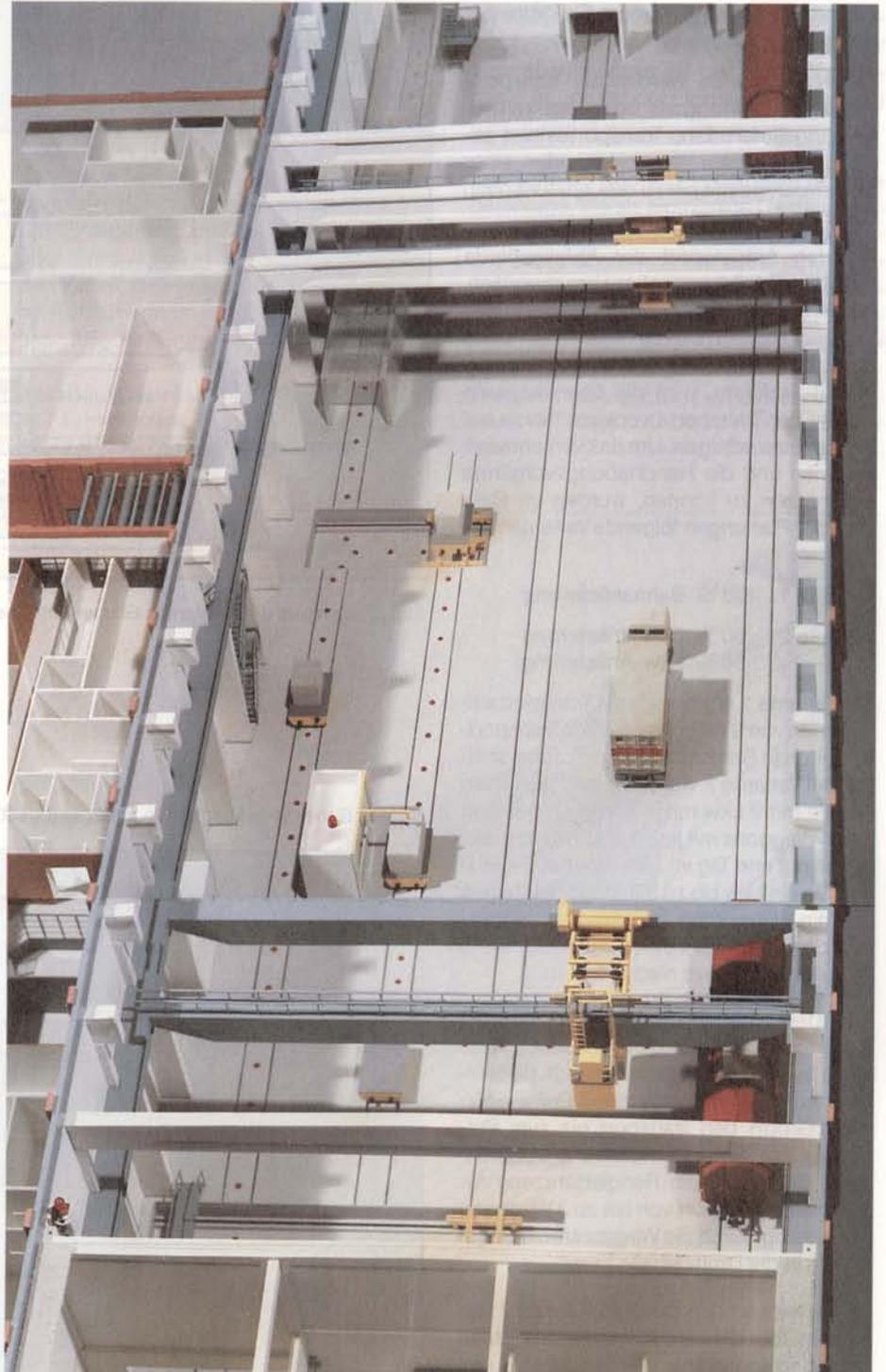


Bild 29: Umladung der Gebinde mit einem Brückenkran (unten rechts) auf bereitstehende Plateauwagen. Beladene Plateauwagen gelangen an einem Strahlenschutzmeßplatz vorbei über den Querverschub 2 zum Puffertunnel (oben links) – Modellfoto –

den und Stoß bzw. Firste werden abschnittsweise versetzt.

Befüllte Einlagerungskammern werden durch Abschlußbauwerke verschlossen. Als Versatzmaterial dient das bei der Auf-fahrung gewonnene Haufwerk. Die Kammerabschlußbauwerke sollen die mit radioaktiven Abfällen befüllten und versetzten Einlagerungskammern in der Betriebsphase des Endlagers gegen das offene Grubengebäude abschließen, um die Strahlenexposition des Betriebspersonals durch freigesetzte gasförmige Radionuklide zu minimieren. Die Kammerabschlußbauwerke werden in den Zufahrtsbereichen der Einlagerungskammern zwischen der Transportstrecke und den jeweiligen Entladekammern errichtet. Der Querschnitt in diesen Streckenabschnitten beträgt etwa 25 m<sup>2</sup>, die Länge des Abschlußbauwerks mindestens 25 m.

Voraussichtlich werden die radioaktiven Abfälle nur in einer Schicht je Tag endgelagert. Ob auf einen Zweischichtbetrieb übergegangen werden soll, wird nach einer Erprobungsphase – insbesondere unter Berücksichtigung des aktuellen Abfallaufkommens – entschieden. Je Schicht können im Jahresmittel 17 Transporteinheiten nach unter Tage transportiert werden. Bei 230 Arbeitstagen je Jahr ergibt sich somit eine Einlagerungskapazität von rund 4000 Transporteinheiten je Jahr bei einschichtigem Betrieb.

Bild 30: Modell der Pufferhalle mit Seitenstapelfahrzeug.



Bild 31: Das Einlagerungsfahrzeug ist mit auswechselbaren Tragvorrichtungen versehen und kann alle Gebindetypen aufnehmen.

Bild 32: Modell einer Einlagerungskammer mit Containern und Rundgebinden.



## 12. Sicherheitsanalysen

Für den sicheren Betrieb des Endlagers Konrad gilt die Forderung, daß der Schutz für das Betriebspersonal und die Umgebung gewährleistet ist. Aus radiologischer Sicht sind dabei Grenzwerte einzuhalten, die in der Strahlenschutzverordnung festgelegt sind (siehe Tabelle 2). Die Sicherheitsanalysen dienen dem Nachweis, daß diese Schutzziele in der Betriebs- und Nachbetriebsphase eingehalten werden. Daher ergeben sich aus den Analysen Anforderungen an Anlage, Betrieb der Anlage und einzulagernde Abfälle.

### Bestimmungsgemäßer Betrieb

Im bestimmungsgemäßen Betrieb treten radiologische Belastungen des Betriebspersonals und der Umgebung in erster Linie durch die von den Abfallgebinden ausgehenden Strahlungsfelder (Direkt- und Streustrahlung) auf. Durch eine Begrenzung der Ortsdosisleistung der Abfallgebinde auf 0,1 mSv/h in 2 m Entfernung von der Oberfläche für Container bzw. 1 m Entfernung von der Oberfläche für zylindrische Abfallgebinde und auf im Mittel 2 mSv/h an der Gebindeoberfläche sowie durch Abschirmung von Arbeitsplätzen wie Fahrzeugen ergibt sich eine mittlere Jahresdosis für das strahlenexponierte Personal von weniger als 5 mSv/a. Bauliche Abschirmungen der Umlade- und Pufferhalle führen dazu, daß ein außerbetrieblicher Überwachungsbereich – wenn überhaupt – lediglich in unmittelbarer Nähe des Anlagenzaunes eingerichtet werden muß.

Ferner ergeben sich potentielle Strahlenexpositionen durch aus Abfallgebinden freigesetzte flüchtige Radionuklide, die vom Betriebspersonal inhaliert und mit den Abwettern über den 45 m hohen Diffusor in die Umgebung abgegeben werden. Ein untergeordneter Beitrag zu diesem Quellterm kann auch nicht festhaftende Oberflächenkontamination an Abfallgebinden sein, die sich ablöst. Diese trotz guter Konditionierung der Abfälle nicht völlig vermeidbare Strahlenexposition ist im wesentlichen auf die flüchtigen Radionuklide H 3, C 14, J 129 und Rn 222 zurückzuführen.

Betriebsphase	Bestimmungsgemäßer Betrieb	Strahlenexponierte Personen A § 49	50 Ganzkörper 150 andere Organe 300 Knochen, Haut Schilddrüse
		Umgebung Ableitung: § 45  Strahlung: § 44	0,3 Ganzkörper 0,9 Schilddrüse, andere Organe 1,8 Knochen, Haut 1,5 Ganzkörper
	Störfälle	Umgebung § 28, Abs. 3	50 Ganzkörper 150 Schilddrüse, andere Organe 300 Knochen, Haut
Nachbetriebsphase		Umgebung § 45	0,3 Ganzkörper 0,9 Schilddrüse, andere Organe 1,8 Knochen, Haut

Tabelle 2: Grenzwerte nach Strahlenschutzverordnung in mSv/a.

ren. Sie liegt für das Betriebspersonal bei 0,5 mSv/a und für die Umgebung am ungünstigsten Aufpunkt bei 0,05 mSv/a effektiver Äquivalentdosis.

Zu den aus dem Abfall stammenden Emissionen kommt die Emission flüchtiger, im Wirtsgestein natürlich vorkommender radioaktiver Stoffe hinzu. Im Endlager Konrad wird Radon aus dem Gebirge freigesetzt.

Neben der Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern erfolgt auch eine kontrollierte Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser an die Umgebung. Dabei handelt es sich um geringe Mengen flüssiger Betriebsabfälle aus den übertägigen Anlagen und um Grubenwässer. Aus den Abfällen stammende Radionuklide führen in der Umgebung zu einer potentiellen Strahlenexposition von 0,02 mSv/a effektiver Äquivalentdosis. Die natürliche Radioaktivität der Grubenwässer verursacht eine potentielle effektive jährliche Äquivalentdosis von etwa 0,07 mSv/a.

Um die Einhaltung der Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung zu gewährleisten, wurde für die flüchtigen Radionuklide eine maximale Aktivitätsableitung je Jahr über Luft und Wasser beantragt (siehe Tabelle 3). Die tatsächliche Ableitung wird laufend überwacht.

Aus den o. g. Antragswerten für die Ableitung sind in der Sicherheitsanalyse obere Werte für die jährlich einlagerbare Aktivität berechnet worden, die im wesentlichen von der Güte und der Art der Abfallprodukte, der Verpackung und der Anzahl gleichzeitig betriebener Einlagerungskammern bestimmt werden. Die Einhaltung der Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung ist durch die laufende nuklidspezifische und abfallspezifische Bilanzierung der eingelagerten radioaktiven Stoffe, die Beschränkung auf maximal vier gleichzeitig in Betrieb befindliche Einlagerungskammern und durch die laufende Überwachung der abgeleiteten radioaktiven Stoffe gewährleistet.

## Störfälle

Im Rahmen der Sicherheitsanalysen für die Auslegung des Endlagers werden auch Störfälle auf der Basis von Störfallanalysen berücksichtigt. Man unterscheidet zwischen Störfällen, die in ihren radiologischen Auswirkungen durch die Auslegung der Anlage bzw. der Abfallgebinde begrenzt werden (Klasse 1) und Störfällen, die durch Auslegungsmaßnahmen der Anlage bzw. der Abfallgebinde vermieden werden (Klasse 2). Für eine Begrenzung der Radionuklidinventare in den Abfallgebinden sind die Störfälle der Klasse 1 ausschlaggebend; durch radiologische Rechnungen muß gezeigt werden, daß die Störfallplanungswerte nach der Strahlenschutzverordnung eingehalten werden.

Die Störfallanalysen laufen im wesentlichen in drei Schritten ab:

Der 1. Schritt, die Ereignisanalyse, besteht in einer systematischen Ermittlung aller unerwünschten Ereignisse. Ein Ereignis wird dann als unerwünscht angesehen, wenn es zu einer betrieblich nicht vorgesehenen mechanischen bzw. thermischen Belastung von Abfallgebinden führt und dadurch eine Freisetzung radioaktiver Stoffe eintreten kann.

Im 2. Schritt werden die in der Ereignisanalyse gefundenen unerwünschten Ereignisse hinsichtlich der Betriebsbereiche, der Störfallabläufe, der Lastannahmen und der Anzahl der von einer Einwirkung betroffenen Abfallgebinde bewertend zu Auslegungsstörfällen zusammengefaßt.

Die Auslegungsstörfälle bilden die Grundlage für den 3. Schritt. Er umfaßt die Bestimmung der potentiellen radiologischen Auswirkungen von Störfällen in der Umgebung der Anlage und hat Rückwirkungen auf die Planung und Auslegung der Anlage und auf die Anforderungen an die endzulagernden Abfallgebinde.

Zur Ermittlung der durch anlageninterne Ereignisse bedingten Störfälle ist es zweckmäßig, das Endlager in die drei Anlagenbereiche übertägige Anlage, Schachtförderanlage und untertägige Anlage zu unterteilen. Mechanische oder thermische

Radionuklid/ Radionuklidgruppe	Aktivitätsableitungen Bq/a	
H 3 C 14 J 129 Rn 222  Aerosole (Halbwertszeit > 10 d):  $\alpha$ -Strahler $\beta/\gamma$ -Strahler	$1,48 \cdot 10^{13}$ $3,7 \cdot 10^{11}$ $7,4 \cdot 10^6$ $1,85 \cdot 10^{12}$   $3,7 \cdot 10^6$ $7,4 \cdot 10^7$	Abwetter
H 3 andere Radionuklide	$7,4 \cdot 10^{12}$ $7,4 \cdot 10^8$	Abwasser

Tabelle 3: Antragswerte für die Aktivitätsabgabe mit den Abwettern und Abwässern beim Endlager Konrad.

Einwirkungen können auf die Abfallgebinde im wesentlichen durch folgende Ereignisse eintreten:

- Absturz von Abfallgebinden,
- Absturz schwerer Lasten auf Abfallgebinde,
- Kollision von Transportmitteln mit und ohne Brand,
- Fahrzeugbrand,
- anlageninterner Brand und
- anlageninterne Explosion.

Aus insgesamt etwa 50 unerwünschten Ereignissen haben sich drei Störfälle als radiologisch abdeckend identifizieren lassen:

- der Absturz von Abfallgebinden beim Umschlag in den übertägigen Anlagen aus weniger als 3 m Höhe,
- der Absturz von Abfallgebinden bei der Einlagerung in den Einlagerungskammern aus weniger als 5 m Höhe und
- der Brand eines beladenen Transportfahrzeuges unter Tage ( $T = 800 \text{ }^\circ\text{C}$ , Dauer eine Stunde).

Zur Ermittlung von Störfallauswirkungen müssen die störfallbedingten Freisetzunganteile von radioaktiven Stoffen aus

Bild 33: Absturzversuch: Das Abfallgebinde wird aus einer bestimmten Höhe in einem geschlossenen Kasten auf einen unnachgiebigen Untergrund abgeworfen. Insbesondere wird die staub- und aerosolförmig freigesetzte Materie auf Filtern gesammelt und ausgemessen.





Bild 34: Brandversuch: An inaktiven Simulaten wird untersucht, wie sich Abfallgebilde bei einem Brand verhalten. Die mit den Rauchgasen freigesetzte Materie wird auf Filtern gesammelt und ausgemessen, um festzustellen, wieviel Radioaktivität im Brandfall aus einem Abfallgebilde freigesetzt werden kann.

den Abfallgebilden und ihre Rückhaltung innerhalb der Anlage bestimmt werden (Bild 33 und 34). Die Freisetzungssanteile hängen sehr stark von der Abfallform, also von den Abfallproduktgruppen ab. Das Freisetzungverhalten ist im Falle des Brandes auch nuklidabhängig; beispielsweise wird bei Jod stets eine Freisetzung von 100 % unterstellt; bei Co 60 dagegen maximal 50 % (bei der Abfallproduktgruppe „Kunststoffprodukte“). Die Störfallanalysen führen zu Aktivitätsgrenzwerten je Abfallgebilde unter Berücksichtigung der Abfallproduktgruppen und Abfallklassen.

### Wärmeentwicklung

Die Schachanlage Konrad ist nur für die Endlagerung radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung vorgesehen. Die durch die Zerfallswärme der in den Abfällen enthaltenen Radionuklide verursachte Temperaturerhöhung darf am Kammerstoß 3 K nicht überschreiten.

Dieser Wert entspricht etwa der Temperaturdifferenz bei einem Teufenunterschied von 100 m im natürlichen Temperaturfeld und ist im Vergleich mit der durch die Bewitterung verursachten Temperaturveränderung gering. Aufgrund vorliegender Betriebserfahrung sind sicherheitstechnisch signifikante Auswirkungen durch die mit der Einlagerung der radioaktiven Abfälle im Zusammenhang stehenden Temperaturänderungen nicht zu erwarten.

Wird die Wärmeleistung von Radionukliden modellmäßig homogen in einer Einlagerungskammer verteilt, lassen sich daraus Aktivitätsgrenzwerte je Kammerabschnitt für die Abfallgebilde berechnen.

### Langzeitsicherheit

Das Schutzziel für die Zeit nach der Stilllegung eines Endlagers ist in den „Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk“ festgelegt. Es besagt, daß auch nach der Stilllegung eines Endlagers Radionuklide, die

als Folge von nicht vollständig ausschließbaren Transportvorgängen aus einem verschlossenen Endlager in die Biosphäre gelangen können, nicht zu Individualdosen führen dürfen, die die Werte des §45 der Strahlenschutzverordnung überschreiten. Das bedeutet, daß die Dosis auch in diesem Fall innerhalb der Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition bleiben muß, entsprechend einem Wert von 0,3 mSv/a. Dabei ergeben sich für die Deponien von Schadstoffen (dies gilt nicht nur für die Endlagerung radioaktiver Abfälle) folgende Fragen:

1. Für welche Zeiträume können deponierte Schadstoffe von der Biosphäre ferngehalten werden?
2. Für welche Zeiträume können potentielle Belastungen des Menschen durch Deponien berechnet werden?
3. Wird an einem vorgesehenen Standort die mit der Deponie in tiefen Gesteinsschichten der Lithosphäre angestrebte Langzeitsicherheit erreicht?

Der heutige geologische und mineralogisch-geochemische Zustand der Erde ist das Ergebnis eines 4,6 Milliarden Jahre währenden Entwicklungsprozesses, der sich auch noch weit in die Zukunft fortsetzen wird. Charakteristisch für diesen komplexen Prozeß sind Stoffkreisläufe und Elementumverteilungen, die in und zwischen der Atmosphäre, der Hydrosphäre, der Pedosphäre sowie der Lithosphäre mit unterschiedlicher Intensität und Schnelligkeit stattfinden. Ursachen dieser Vorgänge sind Krustenbewegungen, Magmenmobilisation, Verwitterung und Klima (Bild 35).

Nur in den tieferen Gesteinsschichten der Lithosphäre laufen die natürlichen Transportvorgänge so langsam ab, daß eingebrachte Schadstoffe von der Biosphäre bis zu Millionen von Jahren wirksam ferngehalten werden können. Die durchschnittlichen Zeiträume für diese Kreisläufe betragen dagegen in und zwischen Pedosphäre und Hydrosphäre etwa 100 Jahre, in der Atmosphäre nur größenordnungsmäßig 1 Jahr. Das heißt, daß sich in oberflächennahen Deponien eingebrachte Schadstoffe um ein Vielfaches schneller ausbreiten als in Deponien in der Lithosphäre (Bild 36).

Die Sicherheitsanalysen für den Nachweis der Langzeitsicherheit müssen nicht nur die geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten im Untergrund, sondern auch Veränderungen in der Umgebung des Menschen berücksichtigen. Wie in Kap. 8 beschrieben, könnte aus geologischer Sicht in einigen tausend bis zehntausend Jahren eine neue Kaltzeit beginnen. Vor diesem Hintergrund und unter Berücksichtigung der menschlichen Einflüsse auf das Klima (z.B. CO<sub>2</sub>-Problem) sind daher innerhalb etwa der nächsten 10000 Jahre wesentliche klimabedingte Veränderungen der Umgebung des Menschen und damit der hydrogeologischen Verhältnisse nicht auszuschließen.

Die in dem zitierten Schutzziel geforderte Berechnung von Individualdosen ist nur für einen Zeitraum von bis etwa 10000 Jahren sinnvoll, in dem Veränderungen in der Umgebung des Menschen noch ausreichend genau vorausgesagt werden können. Vergleichende Toxizitätsbetrachtungen weisen diesen Zeitraum auch als ausreichend aus: Betrachtet man z.B. die Endlagerung von Wiederaufarbeitungsabfällen und ggf. gewisse Mischkonzepte aus Wiederaufarbeitungsabfällen und direkter Endlagerung, kann festgestellt werden, daß bei Wirksamkeit der geologischen Systeme über größenordnungsmäßig 10000 Jahre das mit der Endlagerung verbundene potentielle Strahlenrisiko auf das natürliche, insgesamt vor Nutzung des Urans vorhandene Strahlenrisiko abgeklungen ist. Die danach noch vorhandenen potentiellen Risiken sind auch kleiner als die Risiken, die aus den festen Abfallstoffen der wichtigsten anderen Energiequelle, der Kohleverbrennung, resultieren (Bild 37).

Für Zeiträume von größenordnungsmäßig 10000 Jahren bis zu 1 Million Jahren haben berechnete Individualdosen unter anderem den Sinn, das vorhersehbare Isolationsvermögen geologischer Systeme nuklidspezifisch zu bewerten. Hierdurch können z.B. die mit der Endlagerung verbundenen Sicherheitsreserven aufgezeigt und Entscheidungen über Endlageroptionen und Endlagertechniken auf eine feste Basis gestellt werden.

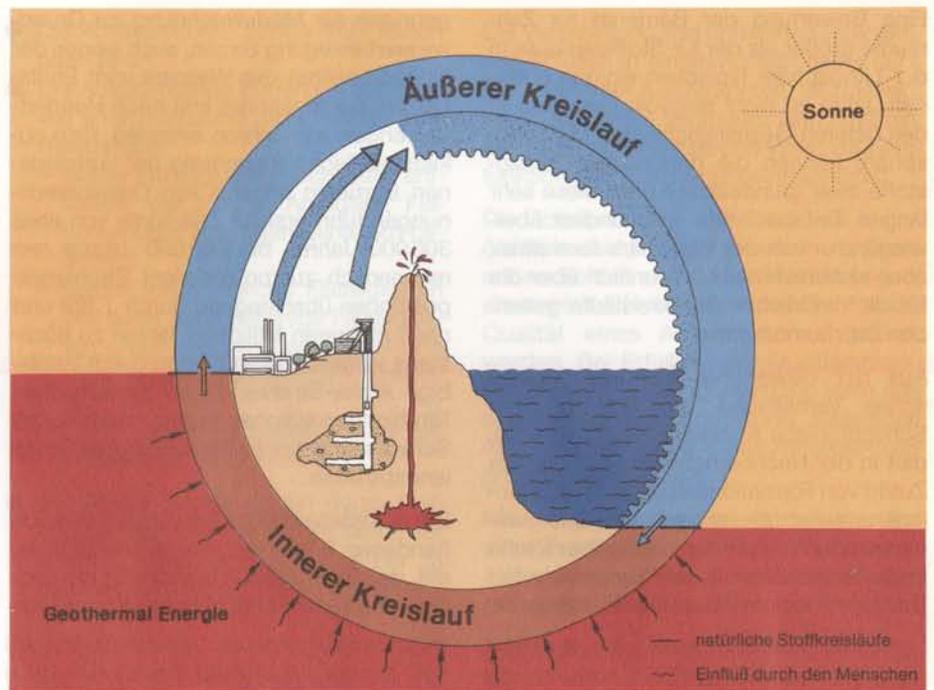
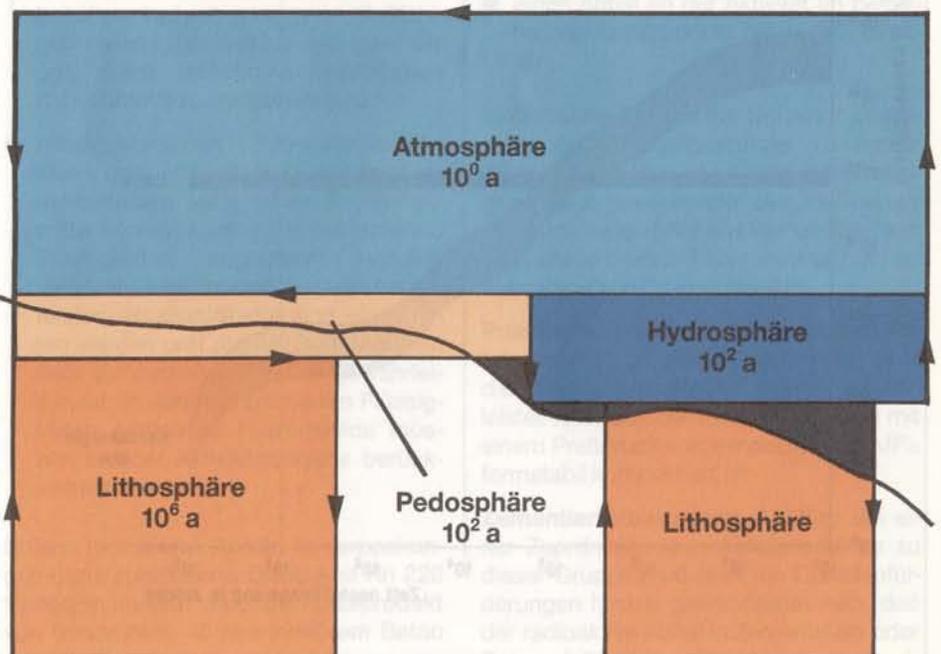


Bild 35: Stoffkreisläufe – schematisch (nach J. Schneider, 1980).

Bild 36: Schematische Darstellung von Stofftransporten und geochemischen Kreisläufen in sowie zwischen Atmosphäre, Hydrosphäre und Lithosphäre (nach A. G. Herrmann, 1985).



Eine Bewertung der Barrieren für Zeiträume größer als der für Stoffkreisläufe in der Lithosphäre typischen einigen Millionen Jahre ist nicht sinnvoll: Deponien in den tieferen Gesteinsschichten der Lithosphäre können die deponierten Schadstoffe zwar grundsätzlich über diese sehr langen Zeitabschnitte – zumindest überwiegend – von der Biosphäre fernhalten, aber sicherlich nicht wesentlich über die für die natürlichen Stoffkreisläufe geltenden Zeiträume hinaus.

Aus der Bewertung der hydrogeologischen Verhältnisse am Standort der Schachanlage Konrad läßt sich ableiten, daß in der Nachbetriebsphase mit einem Zutritt von Formationswässern an das Einlagerungsgut zu rechnen ist. Eine nennenswerte Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Biosphäre mit dem kontaminierten Transportmedium Wasser kann, wie die Er-

gebnisse der Modellrechnung zur Grundwasserbewegung zeigen, auch wegen der langen Laufzeit des Wassers vom Endlager bis zur Biosphäre erst nach Hunderttausenden von Jahren eintreten. Eine nuklidspezifische Bewertung der vorhandenen Barrieren anhand von Dosisberechnungen führt erst für Zeiträume von etwa 300 000 Jahren bis 360 000 Jahren rein rechnerisch zu (potentiellen) Strahlenexpositionen überwiegend durch J 129 und nach mehreren Millionen Jahren zu höchstens vergleichbaren Werten durch langlebige Alpha-Strahler. Diese theoretischen Strahlenexpositionen liegen innerhalb der Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition.

Die nuklidspezifische Bewertung des vorhandenen Barrierensystems bestätigt damit, daß Radionuklide aus den für die Endlagerung in der Schachanlage Konrad vor-

gesehenen Abfällen überwiegend erst nach einem Zeitraum von Millionen von Jahren an die Erdoberfläche gelangen können, und somit das mit geologischen Systemen erreichbare Isolationsvermögen gegeben ist.

Die geologischen Langzeitprognosen über das Verhalten der vorhandenen geologischen Barrieren zeigen unter Berücksichtigung von möglichen Eiszeiten, Abtragungen, epirogenen Bewegungen und des Magmatismus (Kap. 8) ebenfalls, daß das mit geologischen Systemen erreichbare Isolationsvermögen an diesem Standort erreicht wird.

Die Langzeitbetrachtungen sind ein zentrales Thema des laufenden Planfeststellungsverfahrens. Daher kann auch die Langzeitsicherheit endgültig erst nach Abschluß dieses Verfahrens bewertet werden.

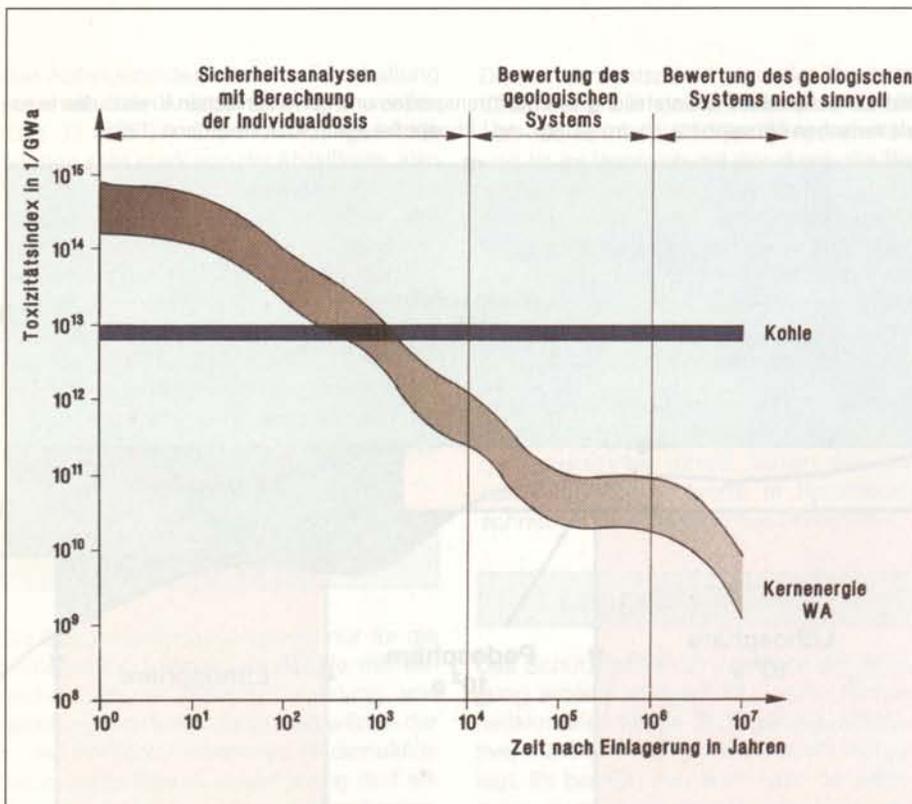


Bild 37: Toxizitätsvergleich zwischen Wiederaufarbeitungsabfällen und festen Abfallstoffen aus der Kohleverbrennung (Vergleich mit natürlichem Vorkommen).

## 13. Endlagerungsbedingungen

Aus den sicherheitsanalytischen Untersuchungen ergeben sich Anforderungen, die bei der Ablieferung der endzulagernden Abfallgebilde erfüllt sein müssen (vorläufige Endlagerungsbedingungen). Die Einhaltung dieser Anforderungen wird im Rahmen der Produktkontrolle geprüft. Neben diesen Anforderungen müssen bei der Anlieferung die jeweils geltenden Vorschriften über die Beförderung gefährlicher Güter eingehalten werden.

Die Dosisleistung an der Oberfläche der Abfallgebilde ist zum Zeitpunkt der Anlieferung an das Endlager Konrad auf einen Mittelwert von  $2 \cdot 10^{-3}$  Sv/h und auf einen lokalen Maximalwert von  $10^{-2}$  Sv/h begrenzt. In 1 m Abstand von der Oberfläche bei zylindrischen Abfallgebilden und in 2 m Abstand bei Containern darf die Ortsdosisleistung nicht mehr als  $10^{-4}$  Sv/h betragen.

Die über eine Fläche von  $100 \text{ cm}^2$  gemittelte nicht festhaftende Flächenkontamination darf an keiner Stelle der Oberfläche eines Abfallgebildes die Grenzwerte von  $3,7 \cdot 10^{-1} \text{ Bq/cm}^2$  für Alphastrahler, für die eine Freigrenze von  $3,7 \cdot 10^3 \text{ Bq}$  festgelegt ist, und  $3,7 \text{ Bq/cm}^2$  für sonstige Radionuklide überschreiten.

Endzulagernde radioaktive Abfälle dürfen nicht mit Stoffen vermischt werden, die nach dem „Gesetz über die Beseitigung von Abfällen (Abfallbeseitigungsgesetz – AbfG)“ und nach den in § 1 Abs. 3, 1., 3.–7. dieses Gesetzes genannten Vorschriften zu beseitigen sind.

### Anforderungen an Abfallprodukte

Die verschiedenen radioaktiven Abfälle sind so zu Abfallprodukten zu verarbeiten, daß sie die nachfolgenden Anforderungen (Grundanforderungen und spezielle Anforderungen) erfüllen und einer der unten genannten Abfallproduktgruppen zugeordnet werden können.

Allgemeine Grundanforderungen sind:

- Die Abfallprodukte müssen in fester oder verfestigter Form vorliegen.

- Die Abfallprodukte dürfen nicht faulen oder gären.
- Die Abfallprodukte dürfen bis auf sinnvoll erreichbare und nicht vermeidbare Restgehalte
  - weder Flüssigkeiten noch Gase enthalten, die sich in Ampullen, Flaschen oder sonstigen Behältern befinden,
  - weder freibewegliche Flüssigkeiten enthalten noch derartige Flüssigkeiten unter üblichen Lagerungs- und Handhabungsbedingungen freisetzen,
  - keine selbstentzündlichen oder explosiven Stoffe enthalten.
- Die Abfallprodukte dürfen durch thermische Neutronen spaltbare Stoffe nur in einer Massenkonzentration bis zu 50 g pro 100 l Abfallprodukt enthalten.

Für Abfallprodukte, die unter Verwendung eines Fixierungsmittels (z.B. Zement, Beton, Bitumen oder Kunststoff) hergestellt werden, gelten folgende Anforderungen:

- Das verwendete Fixierungsmittel muß vollständig abgebunden haben oder muß vollständig erstarrt sein.
- Das Vergießen von radioaktiven Abfällen oder Hohlräumen zwischen Innenbehältern hat mit geeigneten fließfähigen Fixierungsmitteln zu erfolgen, die ggf. durch technische Maßnahmen (z.B. Rütteln) zu verdichten sind.
- Für das Vergießen von radioaktiven Abfällen oder Hohlräumen zwischen Innenbehältern verwendete Fixierungsmittel können auch mit kontaminierten Flüssigkeiten angemacht werden, wenn die Qualitätsmerkmale der betreffenden Abfallproduktgruppe eingehalten werden und die Verträglichkeit mit dem zu vergießenden Gut gewährleistet ist. In den kontaminierten Flüssigkeiten enthaltene Radionuklide müssen bei der Aktivitätsangabe berücksichtigt werden.

Sofern radioaktive Abfälle in Verpackungen ohne spezifizierte Dichtigkeit Rn 220 freisetzen können, muß das Abfallprodukt von mindestens 40 mm inaktivem Beton vollständig umschlossen sein.

PTB

Die Verarbeitung von unfixierten radioaktiven Abfällen in einem Abfallbehälter (z.B. Trocknen oder Konzentrieren) ist zulässig, wenn sich keine Veränderungen ergeben, die die sicherheitstechnische Barrierefunktion des Behälters beeinträchtigen.

Die Abfallprodukte sind einer von sechs Abfallproduktgruppen zuzuordnen. Diese unterscheiden sich in den Anforderungen, die aus sicherheitstechnischer Sicht an die Qualität eines Abfallproduktes gestellt werden. Bei Erfüllung der Qualitätsmerkmale einer Abfallproduktgruppe kann das betreffende Abfallprodukt die zulässigen Aktivitätsgrenzwerte dieser Abfallproduktgruppe ausschöpfen.

**Bitumen- und Kunststoffprodukte:** Bei einer Zuordnung eines Abfallproduktes zu dieser Gruppe müssen die Grundanforderungen erfüllt sein.

**Feststoffe:** Bei einer Zuordnung eines Abfallproduktes zu dieser Gruppe muß über die Grundanforderungen hinaus gewährleistet sein, daß brennbare Abfallstoffe mit einem Schmelzpunkt kleiner  $300 \text{ °C}$

- so fixiert sind, daß sie nicht aus dem Abfallprodukt austreten, wenn sie bei thermischer Belastung flüssig werden oder
- einen Anteil an der Aktivität im betreffenden Abfallprodukt bis zu 1 % besitzen.

**Metallische Feststoffe:** Bei einer Zuordnung eines Abfallproduktes zu dieser Gruppe muß über die Grundanforderungen hinaus gewährleistet sein, daß es nur aus Metallteilen oder aus Werkstoffen von Einbauteilen eines Reaktorkerns mit der Ausnahme von Graphit besteht.

**Preßlinge:** Bei der Zuordnung eines Abfallproduktes zu dieser Gruppe muß über die Grundanforderungen hinaus gewährleistet sein, daß der radioaktive Abfall mit einem Preßdruck von mindestens 30 MPa formstabil kompaktiert ist.

**Zementierte/betonierte Abfälle:** Bei einer Zuordnung eines Abfallproduktes zu dieser Gruppe muß über die Grundanforderungen hinaus gewährleistet sein, daß der radioaktive Abfall in Zementstein oder Beton so fixiert ist, daß

- bei eingebundenen oder verfestigten radioaktiven Abfällen (z. B. Aschen, Pulvern oder wäßrigen Konzentraten) die Aktivität gleichmäßig und vollständig im Zementstein oder Beton verteilt ist oder
- bei vergossenen radioaktiven Abfällen (z. B. Schrott) die Aktivität – soweit technisch und aufgrund der Beschaffenheit des Abfalls sinnvoll machbar – möglichst gleichmäßig im Abfallprodukt verteilt und entweder
  - die Druckfestigkeit des Abfallproduktes mindestens  $10 \text{ N/mm}^2$  beträgt oder
  - der Volumenanteil der Abfallmatrix 40 % übersteigt.

**Konzentrate:** Bei einer Zuordnung eines Abfallproduktes zu dieser Gruppe muß über die Grundanforderungen hinaus gewährleistet sein, daß der radioaktive Abfall selbst aus einem festen, nicht pulverförmigen Bodenkörper aus eingedampften Flüssigkeiten oder getrockneten Schlämmen besteht und nicht brennbar ist.

### Befüllen von Abfallbehältern

Die Abfallbehälter sind so mit einem Abfallprodukt zu befüllen, daß bei Beförderung, Handhabung und Stapelung

- die Grenzwerte der Ortsdosisleistung eingehalten werden und
- eine Beschädigung des Behälters durch das Abfallprodukt ausgeschlossen ist.

Es soll eine möglichst vollständige Befüllung der Abfallbehälter angestrebt werden, um den Resthohlraum zu minimieren und damit der allgemeinen Forderung nach einer möglichst vollständigen Verfüllung der Einlagerungsbereiche zu genügen.

Bei der Befüllung von Containern sind die Abfallprodukte so einzubringen, daß eine möglichst gleichmäßige Massenverteilung über der Containergrundfläche gegeben ist, die bei Beförderung, Handhabung und Stapelung erhalten bleibt.

### Anforderungen an Abfallbehälter

Radioaktive Abfallprodukte müssen zur Beförderung, Handhabung und Stapelung in Behälter verpackt werden. Die Abfallbehälter müssen entsprechend den bei einer Typprüfung festgelegten Bedingungen gefertigt sein und folgenden Grundanforderungen genügen:

Die Abfallbehälter müssen

- die angegebenen Außenabmessungen und Bruttovolumina einhalten (Abfallbehälter, die zur Verpackung von radioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen aus deutschen Kernkraftwerken im europäischen Ausland verwendet werden, können von diesen Außenabmessungen u. U. abweichen);
- so ausgelegt werden, daß sie in befülltem Zustand über eine Höhe von mindestens 6 m ohne Beeinträchtigung ihrer Dichtigkeit und Integrität gestapelt werden können;
  - sofern sie eine spezifizierte Dichtigkeit besitzen – diese durch ihre Auslegung selbst oder durch eine entsprechend dicht ausgelegte innere Verpackung des Abfallproduktes gewährleisten;
  - sofern sie aus Stahlblech hergestellt sind – korrosionsgeschützt ausgeführt und mit einem entsprechenden Oberflächenschutz (z. B. Grundierung und Deckschicht) versehen sein;
- bei ihrer Ablieferung frei von offensichtlichen mechanischen und korrosiven Schäden sein, die ihre Dichtigkeit und Integrität bei Handhabung und Stapelung beeinträchtigen.

Die Abfallbehälter können zwei Abfallklassen zugeordnet werden, die sich in den aus sicherheitstechnischer Sicht an die Qualität einer Verpackung gestellten Anforderungen unterscheiden. Bei Erfüllung der Qualitätsmerkmale einer Abfallklasse können bei Verwendung der betreffenden Ver-

packung die für die jeweilige Abfallproduktgruppe zulässigen Aktivitätsgrenzwerte dieser Abfallklasse ausgeschöpft werden.

#### Abfallklasse I:

Die Abfallbehälter sind über die Grundanforderungen hinaus so ausgelegt, daß bis zu einer Aufprallgeschwindigkeit von bis zu 4 m/s die Integrität soweit erhalten bleibt, daß im Falle einer nachfolgenden thermischen Einwirkung der Sauerstoffzutritt an das Abfallprodukt so begrenzt wird, daß brennbare Abfallprodukte mit Schmelzpunkten über  $300 \text{ °C}$  nicht mit offener Flamme abbrennen, sondern pyrolysieren.

#### Abfallklasse II:

Die Verpackungen müssen über die Grundanforderungen hinaus gewährleisten, daß

- die Verpackung einem Fall aus 5 m Höhe auf eine unnachgiebige Unterlage derart standhält, daß die Leckrate (bezogen auf Standardbedingungen wie bei der Dichtheitsprüfung nach der Vakuummethode) nach dem Fall  $10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$  nicht überschritten wird (diese Anforderungen an die Verpackung entfallen bei in Bitumen fixierten radioaktiven Abfällen, bei denen die Aktivität – soweit technisch und aufgrund der Beschaffenheit des Abfalls sinnvoll machbar – gleichmäßig und vollständig im Fixierungsmittel verteilt ist), und
- die Wandung der Verpackung einen Wärmeleitwiderstand (Produkt aus Schichtdicke und reziproker Wärmeleitfähigkeit) größer gleich  $0,1 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  besitzt oder
- die Leckrate (bezogen auf Standardbedingungen wie bei der Dichtheitsprüfung nach der Vakuummethode) kleiner  $10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$  ist und bei einem Schadensfeuer mit einer Temperatur von  $800 \text{ °C}$  während einer Stunde sichergestellt ist, daß die integrale Leckage während des Brandes und einer Abkühlphase von 24 Stunden einen Wert von einem Mol nicht überschreitet.

## Aktivitätsbegrenzungen

Die maximal zulässigen Aktivitäten von Radionukliden und Radionuklidgruppen (nicht spezifizierte Alpha- und Beta-/Gamma-Strahler) resultieren aus den Sicherheitsanalysen. Die hieraus abgeleiteten Anforderungen bestehen unabhängig voneinander. Die jeweils restriktivste Anforderung bezüglich der maximal zulässigen Aktivitäten der Radionuklide und Radionuklidgruppen (Aktivitätsgrenzwerte) in einem Abfallgebilde muß in Verbindung mit der Begrenzung der jährlich einlagerbaren Aktivität eingehalten werden. In den Tabellen 4 und 5 sind die einzuhaltenen Aktivitäten für Radionuklide beispielhaft für unterstellte Störfälle und die thermische Beeinflussung des Wirtsgesteins wiedergegeben.

Aufgrund der heutigen Kenntnisse über die einzulagernden Abfälle ist zu Beginn der Nachbetriebsphase mit einer Aktivität des gesamten Endlagers von etwa  $2,4 \cdot 10^{16}$  Bq an Alpha-Strahlern, von etwa  $9,8 \cdot 10^{17}$  Bq an Beta/Gamma-Strahlern und einer J-129-Aktivität von  $1,5 \cdot 10^{11}$  Bq zu rechnen.

Außer den Aktivitätsbegrenzungen, die aus den Sicherheitsanalysen abgeleitet wurden, müssen die in den Beförderungsverordnungen angegebenen Grenzwerte für die maximal zulässige Aktivität pro Abfallgebilde eingehalten werden.

Radionuklid/ Radionuklid- gruppe	Abfallklasse I					Abfall- produkt- gruppen 01 – 06
	Abfallproduktgruppe					
	01 Bitumen- und Kunststoff- produkte	02 Fest- stoffe	03 Metallische Feststoffe	04 Preßlinge	05,06 Zementierte/ Betonierte Abfälle, Konzentrate	
Cl 36	$7,3 \cdot 10^8$	$7,3 \cdot 10^8$	$7,3 \cdot 10^8$	$7,3 \cdot 10^8$	$7,3 \cdot 10^8$	$1,2 \cdot 10^{11}$
J 129	$2,7 \cdot 10^9$	$2,7 \cdot 10^9$	$2,7 \cdot 10^9$	$2,7 \cdot 10^9$	$2,7 \cdot 10^9$	$4,4 \cdot 10^{11}$
Ra 226	$4,9 \cdot 10^8$	$2,4 \cdot 10^{10}$	$6,0 \cdot 10^{10}$	$1,6 \cdot 10^{11}$	$4,9 \cdot 10^{11}$	$8,1 \cdot 10^{12}$
Sr 90	$1,9 \cdot 10^9$	$8,9 \cdot 10^{10}$	$2,2 \cdot 10^{11}$	$5,8 \cdot 10^{11}$	$1,9 \cdot 10^{12}$	$3,1 \cdot 10^{13}$
Cm 248	$2,6 \cdot 10^9$	$1,3 \cdot 10^{11}$	$3,2 \cdot 10^{11}$	$8,1 \cdot 10^{11}$	$2,6 \cdot 10^{12}$	$4,3 \cdot 10^{13}$
Pb 210	$3,1 \cdot 10^9$	$1,6 \cdot 10^{11}$	$4,0 \cdot 10^{11}$	$9,6 \cdot 10^{11}$	$3,1 \cdot 10^{12}$	$5,1 \cdot 10^{13}$
Pa 231	$3,3 \cdot 10^9$	$1,6 \cdot 10^{11}$	$4,0 \cdot 10^{11}$	$1,0 \cdot 10^{12}$	$3,3 \cdot 10^{12}$	$5,1 \cdot 10^{13}$
Th 232	$4,4 \cdot 10^9$	$2,2 \cdot 10^{11}$	$5,6 \cdot 10^{11}$	$1,4 \cdot 10^{12}$	$4,4 \cdot 10^{12}$	$7,3 \cdot 10^{13}$
Ra 228	$4,9 \cdot 10^9$	$2,4 \cdot 10^{11}$	$6,2 \cdot 10^{11}$	$1,6 \cdot 10^{12}$	$4,9 \cdot 10^{12}$	$8,1 \cdot 10^{13}$
Pu 239	$6,7 \cdot 10^9$	$3,3 \cdot 10^{11}$	$8,1 \cdot 10^{11}$	$2,1 \cdot 10^{12}$	$6,7 \cdot 10^{12}$	$1,1 \cdot 10^{14}$
Ac 227	$9,6 \cdot 10^9$	$4,7 \cdot 10^{11}$	$1,2 \cdot 10^{12}$	$2,9 \cdot 10^{12}$	$9,6 \cdot 10^{12}$	$1,6 \cdot 10^{14}$
Tc 99	$1,1 \cdot 10^{10}$	$5,6 \cdot 10^{11}$	$1,4 \cdot 10^{12}$	$3,6 \cdot 10^{12}$	$1,1 \cdot 10^{13}$	$1,9 \cdot 10^{14}$
Am 242m	$1,5 \cdot 10^{10}$	$7,4 \cdot 10^{11}$	$1,9 \cdot 10^{12}$	$4,7 \cdot 10^{12}$	$1,5 \cdot 10^{13}$	$2,4 \cdot 10^{14}$
Cs 137	$4,0 \cdot 10^{10}$	$1,9 \cdot 10^{12}$	$4,9 \cdot 10^{12}$	$1,3 \cdot 10^{13}$	$4,0 \cdot 10^{13}$	$6,7 \cdot 10^{14}$
Co 60	$4,9 \cdot 10^{10}$	$2,4 \cdot 10^{12}$	$6,2 \cdot 10^{12}$	$1,6 \cdot 10^{13}$	$4,9 \cdot 10^{13}$	$8,1 \cdot 10^{14}$
sonstige $\alpha$ -Strahler	$6,7 \cdot 10^9$	$3,3 \cdot 10^{11}$	$8,1 \cdot 10^{11}$	$2,1 \cdot 10^{12}$	$6,7 \cdot 10^{12}$	$1,1 \cdot 10^{14}$
sonstige $\beta/\gamma$ -Strahler	$4,9 \cdot 10^{10}$	$2,4 \cdot 10^{12}$	$6,2 \cdot 10^{12}$	$1,6 \cdot 10^{13}$	$4,9 \cdot 10^{13}$	$8,1 \cdot 10^{14}$

Tabelle 4: Aktivitätsgrenzwerte für Leitnuklide und nicht spezifizierte sonstige Alpha- und Beta/Gammastrahler, die aus Störfällen resultieren. Angaben in Bq pro Abfallgebilde.

Radio- nuklid	Aktivitäts- grenzwert	Radio- nuklid	Aktivitäts- grenzwert
Th 232	$1,3 \cdot 10^{11}$	Ra 228	$3,7 \cdot 10^{12}$
U 235	$1,5 \cdot 10^{11}$	Nb 94	$5,0 \cdot 10^{12}$
U 233	$1,8 \cdot 10^{11}$	Pu 238	$8,9 \cdot 10^{12}$
Th 230	$1,9 \cdot 10^{11}$	Pb 210	$1,5 \cdot 10^{13}$
Pa 231	$2,0 \cdot 10^{11}$	Ca 41	$1,7 \cdot 10^{13}$
U 234	$2,6 \cdot 10^{11}$	Ag 108 m	$2,6 \cdot 10^{13}$
Cm 248	$3,0 \cdot 10^{11}$	Cl 36	$2,6 \cdot 10^{13}$
Np 237	$3,3 \cdot 10^{11}$	Be 10	$2,6 \cdot 10^{13}$
Cm 247	$3,5 \cdot 10^{11}$	Sn 126	$3,3 \cdot 10^{13}$
Pu 244	$4,7 \cdot 10^{11}$	Rb 87	$3,7 \cdot 10^{13}$
Ra 226	$4,7 \cdot 10^{11}$	Co 60	$5,2 \cdot 10^{13}$
U 238	$5,2 \cdot 10^{11}$	Ar 39	$5,3 \cdot 10^{13}$
Cm 245	$9,0 \cdot 10^{11}$	Cs 137	$8,8 \cdot 10^{13}$
Ac 227	$2,5 \cdot 10^{12}$	Ni 63	$7,5 \cdot 10^{14}$
Am 242 m	$3,6 \cdot 10^{12}$	Fe 55	$2,9 \cdot 10^{16}$

Tabelle 5: Aktivitätsgrenzwerte für thermische Beeinflussung in Bq je Meter Kammer.

# 14. Produktkontrolle

Die zur Endlagerung gelangenden radioaktiven Abfälle werden auf die Einhaltung der Endlagerungsbedingungen geprüft, und zwar entweder durch Untersuchungen am konditionierten Abfallprodukt (direkte Produktkontrolle, siehe Bild 38) oder durch Qualifikation von Konditionierungsverfahren und ihre Überwachung (indirekte Produktkontrolle). Die Produktqualität wird vorrangig bei der Verarbeitung des radioaktiven Abfalls durch Voruntersuchungen, zum Beispiel an Rohabfall und Fixierungsmittel, Anforderungen an die apparative Ausrüstung der Verfahrenslinien sowie Prozeßführung und -überwachung gewährleistet.

Produktkontrolle und Verantwortungsbe-  
reiche der Beteiligten werden wie folgt organisiert:

- Die Abfalllieferer gewährleisten die Einhaltung der Endlagerungsbedingungen durch in Eigenverantwortung durchgeführte Maßnahmen und weisen die Wirksamkeit dieser Maßnahmen nach.
- Die Produktkontrollstelle (Kernforschungsanlage Jülich GmbH, KFA) beurteilt die Einhaltung der Endlagerungsbedingungen durch Prüfung der Dokumentation der Abfalllieferer, Stichprobenprüfungen an Abfallgebinden und Qualifikation und Inspektion von Konditionierungsverfahren.
- Die Endlagerbetriebsgesellschaft (DBE) führt die mit Abruf und Einlagerung verbundenen Arbeiten durch, beispielsweise Kontrolle der Begleitpapiere von Abfallgebinden und Dokumentationen der Abfalldaten. Prüfungen von Abfallgebinden am Endlager (Eingangskontrolle) werden aus Strahlenschutzgründen durchgeführt.
- Der Endlagerbetreiber (PTB) überwacht die ordnungsgemäße Durchführung der Produktkontrolle und entscheidet bei der Feststellung von Abweichungen und Mängeln über die weitere Behandlung dieser Abfälle.

Wird bei der Produktkontrolle festgestellt, daß die endzulagernden Abfallgebinde in ordnungsgemäßem Zustand sind, so können sie an das Endlager abgeliefert werden.

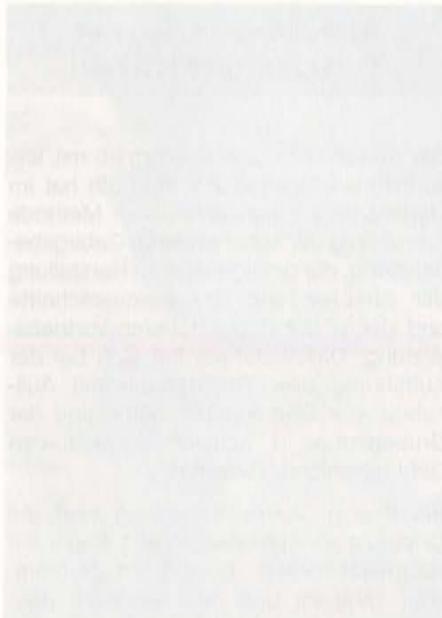


Bild 38: Direkte Produktkontrolle durch Gamma-Spektroskopie: Die von den Radionukliden im Faß (links) emittierten Gammastrahlen werden mit Hilfe eines hochempfindlichen Germanium-Detektors (Bildmitte) erfaßt und ausgewertet.

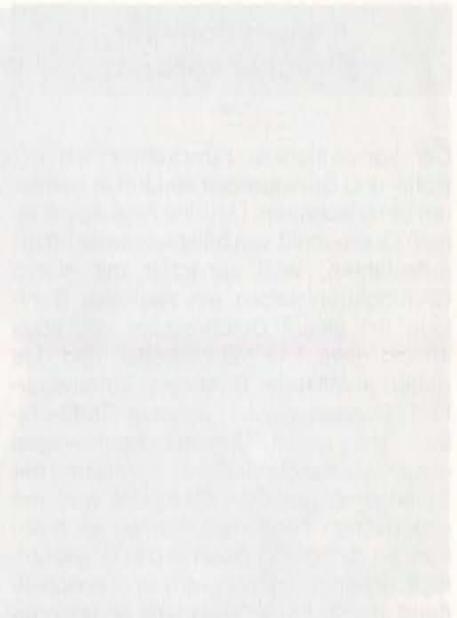
Anhänge



Das Bild zeigt die Ansicht der Messvorrichtung mit dem Messobjekt von oben. Die Messvorrichtung ist ein Messsystem zur Messung der Länge eines Objekts.



Das Bild zeigt die Ansicht der Messvorrichtung mit dem Messobjekt von unten. Die Messvorrichtung ist ein Messsystem zur Messung der Länge eines Objekts.

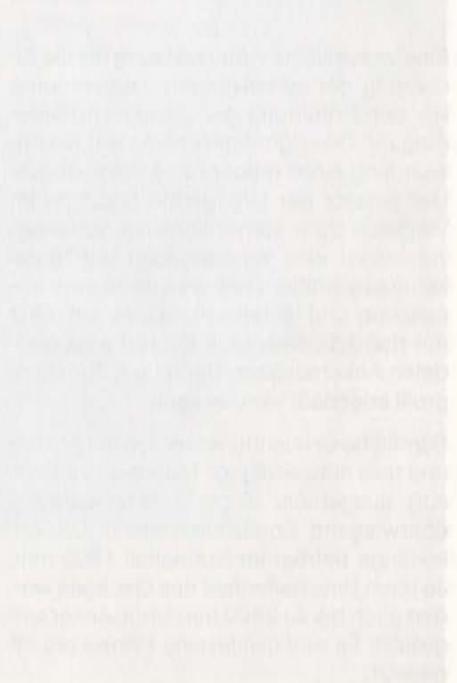


Das Bild zeigt die Ansicht der Messvorrichtung mit dem Messobjekt von der Seite. Die Messvorrichtung ist ein Messsystem zur Messung der Länge eines Objekts.

Das Bild zeigt die Ansicht der Messvorrichtung mit dem Messobjekt von oben. Die Messvorrichtung ist ein Messsystem zur Messung der Länge eines Objekts.



Das Bild zeigt die Ansicht der Messvorrichtung mit dem Messobjekt von der Seite. Die Messvorrichtung ist ein Messsystem zur Messung der Länge eines Objekts.



## Anhang 1 Bergtechnik

### Konventioneller Streckenvortrieb

Der konventionelle Streckenvortrieb mit Bohr- und Sprengarbeit verläuft in mehreren Einzelschritten. Um eine Strecke mit einem Querschnitt von beispielsweise  $30 \text{ m}^2$  aufzufahren, wird zunächst mit einem Großlochbohrwagen ein zentrales Bohrloch mit einem Durchmesser von etwa  $40 \text{ cm}$  etwa  $4 \text{ m}$  tief gestoßen und das dabei anfallende Bohrklein abtransportiert. Danach werden um das Großbohrloch mit einem Sprenglochbohrwagen etwa  $40$  Sprengbohrlöcher erstellt und mit Sprengstoff geladen. Gezündet wird mit elektrischen Zündern von innen nach außen, so daß das Gestein in das Großbohrloch hereingebrochen wird und anschließend mit Schaufelfahrladern abgefahren werden kann. Bei jedem Abschlag, der in diesem Fall  $4 \text{ m}$  lang,  $6 \text{ m}$  breit und  $5 \text{ m}$  hoch ist, fallen etwa  $300 \text{ t}$  Erz an.

### Ankerausbau

Eine wesentliche Voraussetzung für die Sicherung der zu nutzenden Grubenräume bei der Einführung der gleislosen Förderung mit Dieselgroßmaschinen war die Anwendung eines rationellen Ankerausbaus. Der Einsatz der Großgeräte bedingte im Vergleich zum konventionellen Verfahren zumindest eine Verdoppelung der Streckenquerschnitte. Dies erforderte eine Anpassung und Verbesserung des seit 1962 auf der Schachtanlage Konrad angewendeten Ankerausbaus, der jedem Streckenprofil angepaßt werden kann.

Sämtliche Grubenbaue werden mit Anker und falls notwendig mit Maschendrahtverzug ausgebaut. Zum Einsatz kommen überwiegend Sprezhülsenanker. Die Ankerlänge beträgt im Normalfall  $1800 \text{ mm}$ . Je nach Beschaffenheit des Gebirges werden auch bis zu  $2500 \text{ mm}$  lange Anker eingesetzt. Es wird mindestens  $1$  Anker pro  $\text{m}^2$  gesetzt.

### Streckenvortrieb mit Teilschnittmaschinen

Der maschinelle Streckenvortrieb mit Teilschnittmaschinen (TSM) (Bild 39) hat im Gegensatz zur konventionellen Methode den Vorzug der schonenderen Gebirgsbehandlung, der profilgenaueren Herstellung der Strecken und Kammerquerschnitte und der in der Regel höheren Vortriebsleistung. Das Verfahren hat sich bei der Auffahrung aller Grubenbaue mit Ausnahme der Grubennebenräume und der Grubenbaue in schwer schneidbaren Gebirgsschichten bewährt.

Bei diesem Vortriebsverfahren wird die Ortsbrust abschnittsweise von einem mit Hartmetallmeißeln bestückten Schräm Kopf zerspant und das Haufwerk dem gleislosen Lade- bzw. Transportfahrzeug zugeführt (Bild 40 und 41). Der Auffahrungsablauf richtet sich nach dem zu erstellenden Querschnitt. Bei Streckenauf-

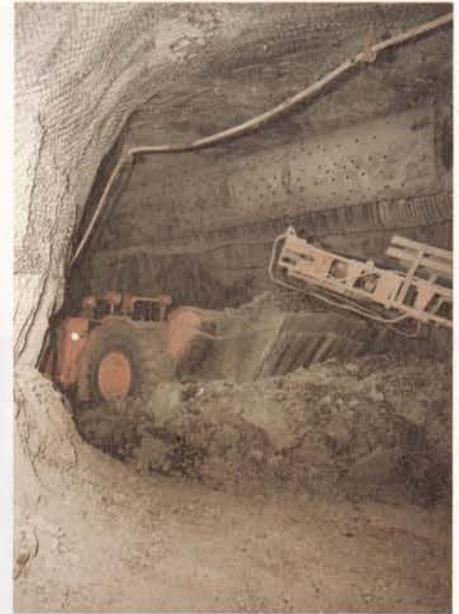


Bild 40: Hinter der Teilschnittmaschine wird das Haufwerk von einem Fahrlader aufgenommen.

Bild 39: Der Schräm Kopf der Teilschnittmaschine STM 300.



fahrungen mit etwa 25 m<sup>2</sup> Querschnitt wird z. B. das Streckenprofil in einem Arbeitsgang mit etwa 6 m Breite und etwa 4,5 m Höhe geschnitten. Die Ankerbohrlöcher werden mit einer auf der Teilschnittmaschine montierten Ankerbohrlafette abschnittsweise bei Unterbrechung der Schneidarbeiten gebohrt und die Anker gesetzt (Bild 42). Mit großen Teilschnittmaschinen, wie der STM 300, läßt sich ein Querschnitt von 40 m<sup>2</sup> in einem Arbeitsgang auffahren (Bild 43).

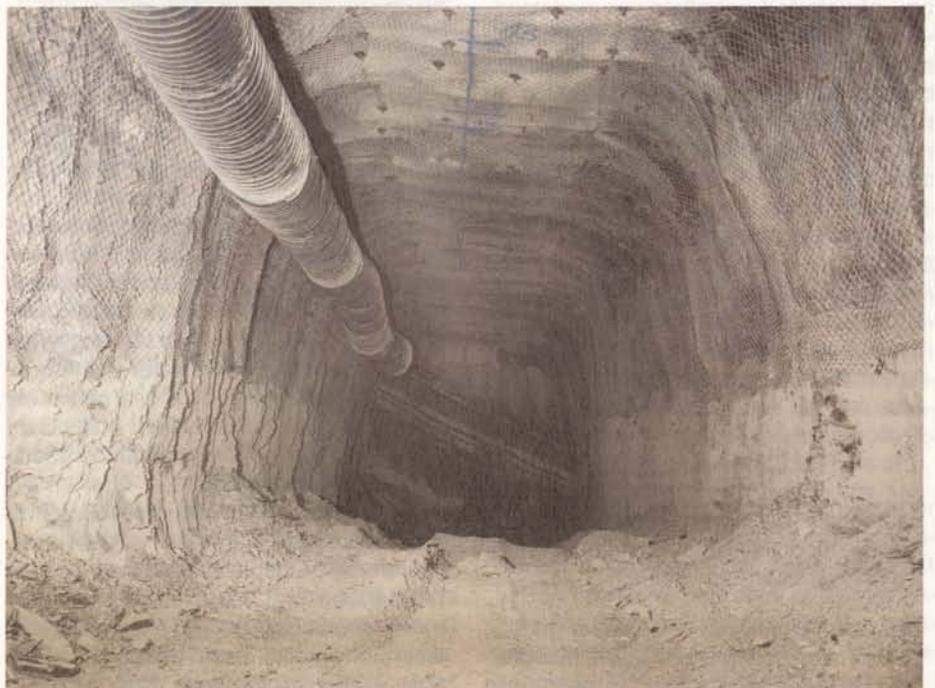
Zur Ausrüstung eines TSM-Vortriebes gehören ferner die blasende Sonderbewetterung sowie eine Entstaubungsanlage, um die Staubentwicklung zu reduzieren. Außerdem sind ein Fahrlader und ein Muldenkipper erforderlich, um das Haufwerk abzufahren.



Bild 42: Auf der Teilschnittmaschine ist eine Ankerbohrlafette montiert, mit der die Ankerlöcher gebohrt und die Anker gesetzt werden.

Bild 43: Eine Strecke mit einem Querschnitt von 40 m<sup>2</sup>, die mit einer Teilschnittmaschine erstellt wurde.

Bild 41: Ein Muldenkipper übernimmt den Transport des Haufwerks bis zur Ladestelle der Schachtförderung.



## Anhang 2 Stratigraphie und Lithologie

Die ältesten in der Umgebung der Schachanlage Konrad untersuchten Schichten gehören zum **Zechstein**. Sie kommen in den benachbarten Salzstöcken und in der Struktur des Salzgitter-Höhenzugs vor sowie als Unterlage der mesozoischen Schichten im Gebiet zwischen den Salzstöcken. In der Schachanlage Asse, etwa 15 km südöstlich der Schachanlage Konrad, wurden durch den Bergbau die Salzgesteine der Staßfurt-, Leine- und Aller-Serie erschlossen. Die basalen Zechsteinschichten, Kupferschiefer, Zechsteinkalk und Werra-Anhydrit sind aus verschiedenen Bohrungen der weiteren Umgebung bekannt. Für den Standort Konrad kann eine gleichartige Zechsteinbildung unterstellt werden.

Die Schichten des **Unteren bis Mittleren Buntsandstein** fehlen lediglich dort, wo sie durch aufgedrungene Salze des Zechsteins verdrängt wurden und in einem kleinen Gebiet östlich von Cramme. Die Mächtigkeiten betragen meist etwa 300 m bis 400 m. Der Untere Buntsandstein besteht aus roten und blaugrauen Tonmergeln mit Sand- und Kalksandsteinlagen, der Mittlere Buntsandstein aus mächtigen Sandsteinpaketen und tonig-sandigen Wechseln.

Die Verbreitung von **Oberem Buntsandstein bis Muschelkalk** ist, abgesehen von den Salzstöcken und einigen zentralen Teilen des Salzgitter-Höhenzugs, vollständig. Die Mächtigkeiten betragen meist etwa 400 m bis 450 m. Der Obere Buntsandstein (Röt) ist in toniger und evaporitischer Fazies ausgebildet. Im unteren Teil des Röt tritt Steinsalz im Wechsel mit Anhydrit und Tonlagen auf. Der Untere Muschelkalk setzt sich aus dünnen welligen mergeligen Kalksteinlagen (Wellenkalk) und festen Kalksteinbänken zusammen. Im Mittleren Muschelkalk sind neben klastischen und karbonatischen Gesteinen Anhydrit, Gips und ein fast 100 m mächtiges Steinsalzlager vorhanden. Der Obere Muschelkalk besteht aus bankigen Kalksteinen (Trochitenkalk) und Kalkstein-Tonstein-Wechseln (Ceratiten-Schichten).

Über die Verbreitung des **Keuper** gilt das über Oberen Buntsandstein bis Muschelkalk Gesagte. Mit etwa 760 m werden die

größten Mächtigkeiten auf der Westscholle der Immendorfer Störung angetroffen, die kleinsten Werte von etwa 200 m kommen an den Flanken der Salzstöcke Vechelde und Broistedt vor und weisen auf ein dort kräftig entwickeltes Salzkissen hin. Im übrigen beträgt die Mächtigkeit des Keuper in weiten Bereichen etwa 400 m. Der Untere Keuper (Lettenkohlenkeuper) besteht aus teilweise tonigen Fein- bis Mittelsandsteinen. Im Mittleren Keuper (Gipskeuper) folgen über dem basalen Schilfsandstein bunte Mergelsteine. Der Obere Keuper (Rhät) besteht aus Ton-Sandstein-Wechseln.

Auch der **Lias** ist ähnlich verbreitet wie Oberer Buntsandstein bis Muschelkalk. Während die Mächtigkeiten in der Nähe des Salzstocks Thiede und auf der Westscholle der Immendorfer Störung um 400 m betragen, sind sie in der Nähe der Salzstöcke Vechelde und Broistedt mit etwa 150 m bis 250 m deutlich geringer. In den vorwiegend tonigen Gesteinen des Lias treten im Hettangium noch tonflaserige und karbonatische Sandsteinbänke auf. Das Untertoarcium besteht aus bituminösen Ton- und Mergelsteinen (Posidonienschiefer).

Der **Dogger** wird mit dem Obertoarcium zusammengefaßt und in den unteren Teil „Obertoarcium bis Bajocium“ und den oberen Teil „Bathonium bis Callovium“ getrennt.

Infolge verschiedener späterer Abtragungsvorgänge ist die Verbreitung von **Obertoarcium bis Bajocium** auf das Gebiet zwischen den Salzstrukturen beschränkt. Unter dem geplanten Endlager ist mit einer flächenhaften Verbreitung der Schichten zu rechnen. Die Mächtigkeiten betragen meist 200 m bis 250 m. In Bereichen mit späteren Kappungen gehen sie zurück bis zum vollständigen Ausbeißen. In den vorwiegend tonig-schluffigen Sedimenten kommt im höheren Aalenium ein Sandstein vor, der als potentieller Erdölträger Explorationsziel entlang der Westflanke der Oderwaldstruktur zwischen Wolfenbüttel und Braunschweig war. Dort trafen Bohrungen diesen Dogger- $\beta$ -Sandstein mit guten Speichereigenschaften, aber verwässert an. In der Bohrung Blek-

kenstedt 3 wurde Dogger- $\beta$ -Sandstein in vorwiegend tonig-sandflaseriger Fazies mit einer geringmächtigen Kalksandsteinbank erbohrt. Erdölspeichereigenschaften waren wegen des unzureichenden Porenvolumens nicht gegeben.

Die gegenüber dem tieferen Dogger geringere Ausdehnung von **Bathonium bis Callovium** ist im Osten und Süden durch Kappungen vor der Unterkreidetransgression bedingt. An den Flanken des Salzstocks Vechelde haben sich die Schichten dagegen transgressiv über Lias bis an den Salzstock vorgeschoben. Die Mächtigkeiten sind im Norden am größten. Sie erreichen in der westlichen Randsenke des Salzstocks Vechelde etwa 500 m und in der östlichen etwa 400 m. Nach Süden geht die Mächtigkeit bereits vor Einsetzen der Kappung auf Werte um 150 m bis 100 m zurück. Der Unterbathonium-Sandstein („Cornbrash“) nimmt in seiner Mächtigkeit nach Süden zur Bohrung Konrad 101 hin auf etwa 9 m ab. Hier wurde ein karbonatischer Feinsandstein mit geringem Porenvolumen erbohrt. In den darüber folgenden schluffigen Tonsteinen bildet die Gryphäenbank im höchsten Teil des Mittelcallovium einen Leithorizont.

Die Verbreitung des **Malm** ist auf die Randsenken des Salzstocks Vechelde und in geringerem Ausmaß auf die des Salzstocks Broistedt beschränkt. Die Gesamtmächtigkeit ist im Norden in der Nähe von Alvesse mit etwa 800 m am größten. Nach Süden nimmt sie ab, und bei Hallendorf beißt der Malm unter der Unterkreidetransgression aus. In der westlichen Randsenke beträgt die Maximalmächtigkeit nur etwa 500 m. Da der Malm die Endlagerformation Korallenoolith enthält, wird er im folgenden entsprechend seiner Stufengliederung beschrieben.

Das Vorkommen von **Oxford** ist Teil des Randsenkensystems der Salzstöcke Vorhop, Gifhorn, Rofsbüttel-Wendeburg, Vechelde und Broistedt. Im südöstlichsten Abschnitt dieses Systems, in dem die Schachanlage Konrad steht, hat das Vorkommen eine Breite von 3700 m bis 4000 m. Im Zentralgebiet beträgt die Mächtigkeit des Oxford generell über 150 m. Unterxford transgrediert mit Ton-

mergelsteinen bzw. verkieselten Kalken. Das Mitteloxford umfaßt die oolithischen Kalksteine der Trümmerlimonit führenden Erzkalke des Unteren Korallenoolith. Mit dem Oberoxford setzt die Brauneisensedimentation des Mittleren Korallenoolith mit zwei durch ein tonmergeliges Zwischenmittel getrennten Erzlagen ein. Der Obere Korallenoolith besteht aus dickbankigen festen oolithischen Kalken und einzelnen Tonmergelsteinlagen.

Die Verbreitung des **Kimmeridge** ähnelt sehr der des Oxford. Die Maximalmächtigkeiten liegen mit etwa 300 m im Gebiet nördlich von Schacht Konrad 1, nach Süden erfolgt bis zum Einsetzen der Kappung eine Abnahme auf etwa 150 m. Im Unterkimmeridge folgt über oolithischen Kalken und Tonmergelsteinen die Untere Anhydritserie mit mehreren 0,5 m bis 1 m mächtigen Anhydritbänken in Wechsellaagerung mit bunten Tonmergeln. Im Übergangsbereich mit Mittelkimmeridge treten limnische Kalke auf. Die darüber folgende Obere Anhydritserie besteht aus geringmächtigen Anhydritbänken sowie Tonmergel-, Kalkmergel- und Kalkstein. Der Oberkimmeridge besteht aus Tonmergelsteinen mit wechselnden Kalkgehalten.

Die Verbreitung von **Portland** (Oberalm 1 bis 6) ist geringer als die der übrigen Stufen des Jura. Im Süden und Südwesten greift es jedoch etwas über das Verbreitungsgebiet des Kimmeridge hinaus. Infolge präkretazischer Kappung sind nur Restmächtigkeiten zu betrachten, deren Maxima mit etwa 350 m im Norden liegen. Über hellen Kalk- und Kalkmergelsteinen (Gigas-Schichten) folgen plattige Kalk- und Mergelsteine (Eimbeckhäuser Plattenkalk) und rotbraune bis grüngraue gefleckte Tonmergelsteine (Münder-Mergel). Mit dem Serpultit, der im wesentlichen aus Kalkabscheidungen von Würmern besteht, endet das Portland.

Die **Unterkreide** wird in zwei Abschnitten beschrieben. Vom tieferen Abschnitt (Wealden bis Apt) sind Wealden und Valangin nur lokal vorhanden, vor allem im Westen der Salzstöcke Vechelde und Broistedt. Vorkommen im Bereich Salzgitter-Engelstedt, Salzgitter-Watenstedt und Salzgitter-Salder müssen als fraglich

gelten. Erst das Hauterive breitet sich transgressiv im Gesamtgebiet aus und ist ebenso wie Barrême und Oberapt flächenhaft verbreitet. Ausgenommen sind lediglich die höher herausgehobenen Salzstöcke Broistedt und Vechelde, Teile des Salzstocks Thiede und der Salzgitter-Höhenzug. Die Abfolge ist jedoch nicht vollständig. Viele Bohrungen belegen eine Schichtlücke an der Grenze Mittel-/Oberbarrême und das Fehlen des gesamten Unterapt. Im Bereich der Schachanlage Konrad bildet sich der Konradgraben durch deutlich größere Mächtigkeiten ab. Im Wealden wurden in der westlichen Randsenke der Salzstöcke Vechelde und Broistedt in größerer Mächtigkeit feinkörnige Sandsteine mit Pflanzenresten (limnische Fuhse-Fazies) abgelagert. Im Valangin wurden von Südwesten her geringmächtige mittel- bis grobkörnige marine Sande abgelagert, die im Deckgebirge der Schachanlage Konrad fehlen. Über dem Transgressionshorizont des Unterhauterive folgen Ton- und Tonmergelsteine mit geringmächtigen karbonatischen Bänken. Im Oberhauterive dehnte sich das Meer noch weiter aus. Es wurden eintönige Folgen von mächtigen Ton- und Tonmergelsteinen gebildet. Das Barrême besteht aus marinen Ton- und Tonmergelsteinen mit erheblichen Gehalten an organischem Material (Blättertone). Ähnlich sind die Fischschiefer des Unterapt ausgebildet. Unterapt ist nur lückenhaft verbreitet. Daher liegen die Tonsteine des Oberapt vorwiegend über Oberbarrême.

Das **Alb** ist zwischen den Strukturen flächenhaft verbreitet. Im Bereich des Salzstocks Thiede ist infolge Heraushebung und Abtragung die Verbreitung des Alb geringer als die der tieferen Unterkreide. Der Salzstock Vechelde dürfte dagegen vollständig von Alb überdeckt sein. Über dem Salzstock Broistedt und im Salzgitter-Höhenzug fehlt das Alb. Das Unteralb beginnt mit dem durch Glaukonit grün gefärbten Hilssandstein. Nördlich seiner Verbreitungsgrenze wurden zur gleichen Zeit schluffige Tone abgelagert. Über dem Hilssandstein folgen schluffige bis feinsandige Tonsteine. Das Mittelalb transgrediert mit einer geringmächtigen tonfaserigen glaukonitischen Sandschüttung. Über ihr folgt

der Minimus-Ton. Die Flammenmergel des Oberalb sind schluffige bis feinsandige, unterschiedlich stark verkieselte Mergelsteine und Mergeltonsteine.

Die Verbreitung der **Oberkreide** ist etwas geringer als die des Alb. Vertreten sind die Stufen Cenoman, Turon, Coniac und Santon („Emscher Mergel“). Die höheren Stufen fehlen vollständig. Das Gebiet zwischen den Strukturen Thiede, Broistedt-Vechelde und dem Salzgitter-Höhenzug weist eine zusammenhängende Bedeckung von Oberkreide auf. Infolge der späteren Abtragung sind nur Restmächtigkeiten zu betrachten. Sie betragen zwischen den Strukturen Thiede und Broistedt-Vechelde 0 m bis etwa 400 m. In den Randsenken um den Salzstock Broistedt werden noch größere Mächtigkeiten erreicht, im Norden etwa 500 m sowie im Süden etwa 800 m. Das Cenoman besteht an der Basis aus glaukonitischen „Tonsteinen“ (etwa 60 % Tonminerale). Darüber folgen zunehmend kalkigere Gesteine bis zu den weißen Kalksteinen des Obercenoman. Die höheren Partien des Obercenoman sind durch transgredierenden Turon gekappt. Das Turon besteht aus knolligen und faserigen grauen Kalkmergel- und Kalksteinen. Die überlagernden Rotpläner bestehen aus blaßroten Kalksteinen und braunroten Mergelsteinlagen. Darüber folgen helle Kalksteine und Kalkmergelsteine (Weißpläner). Schichten des Coniac und Santon sind nur im Norden, Süden und Südwesten der Schachanlage Konrad in größerer Mächtigkeit erhalten. Das Coniac besteht aus Kalkstein-Mergelkalkstein-Wechselfolgen, an deren Basis Feuersteinknollen auftreten. Das Santon liegt mit glaukonitischen sandigen Mergelsteinen transgressiv vorwiegend über Turon. Coniac war vielfach bereits erodiert. Westlich der Struktur Vechelde-Broistedt entstanden an der Santonbasis Trümmereisen-erze. Darüber folgen Trümmerkalk-, Kalkmergel- und Mergelsteine.

Ablagerungen des **Tertiär** kommen über dem Salzstock Broistedt in einer alttertiären Subrosionssenke vor. Ihre Mächtigkeit in Bohrungen wird mit etwa 50 m angegeben. Die Schichten setzen sich aus Kalksandstein und tonig-schluffigen bis feinsandigen Gesteinen zusammen.



Lockergesteine des **Quartär** sind im gesamten Gebiet flächenhaft verbreitet. Die topographischen Erhebungen tragen in der Regel nur eine geringe Quartärbedeckung von wenigen Dezimetern bis Metern. In den tieferliegenden, schwach welligen Landschaftsteilen mit durchschnittlich 10 m bis 20 m Quartärbedeckung findet sich ein System von Rinnen. Die Rinnenfüllungen weisen mit bis über 100 m erheblich größere Mächtigkeiten als im Restgebiet auf. Das heutige Gewässernetz zeichnet teilweise den Verlauf dieser Rinnen nach. Die größten Quartärmächtigkeiten werden über den Salzstrukturen Broistedt-Vechelde und Thiede in Subrosionssenken erreicht. Im Standortbereich sind fluviatile und glazifluviatile Sande und Kiese, Geschiebemergel und -lehme, Tone und Schluffe (kaltzeitliche Beckensedimente), Löß und Lößlehm, Auelehm sowie Niedermoortorf verbreitet. Die quartären Sedimente zeichnen sich durch starke laterale und vertikale Wechsel aus. Nur Löß und Lößlehm sowie Geschiebemergel sind als dünne Deckschichten flächenhaft verbreitet.

## Anhang 3 Transporte radioaktiver Stoffe

In der Bundesrepublik Deutschland werden zur Zeit jährlich etwa 400 000 Versandstücke (Versandstück = Verpackung und radioaktiver Inhalt) mit radioaktiven Stoffen auf Schiene, Straße, Wasser oder in der Luft befördert. Die weitaus meisten Versandstücke enthalten radioaktive Stoffe, die im medizinischen Bereich verwendet werden, beispielsweise das Isotop  $\text{Co } 60$  oder  $\text{Cs } 137$ . Zahlreiche Versandstücke enthalten  $\text{Ir-192}$ -Quellen, die für die zerstörungsfreie Materialprüfung verwendet werden. Zur Entsorgung der genannten Einrichtungen werden radioaktive Abfälle zu Landessammelstellen und Zwischenlagern transportiert. Zu einem späteren Zeitpunkt sollen diese in ein Endlager gebracht werden.

Die zu befördernden radioaktiven Stoffe besitzen ein sehr unterschiedliches Gefährdungspotential. Um den bestmöglichen Schutz der Bevölkerung und des Betriebspersonals zu erreichen, ist die Beförderung aller radioaktiver Stoffe – unterschieden in Kernbrennstoffe und sonstige radioaktive Stoffe – in der Bundesrepublik Deutschland und grenzüberschreitend lückenlos geregelt.

Die Transporte unterliegen – wie die aller gefährlichen Güter – dem Gesetz über die Beförderung gefährlicher Güter und den darauf basierenden Verordnungen. Neben den verkehrsrechtlichen Bestimmungen unterliegen die Transporte radioaktiver Stoffe in der Bundesrepublik Deutschland den Regelungen des Atomgesetzes oder der Strahlenschutzverordnung, die u.a. die Einhaltung der verkehrsrechtlichen Vorschriften voraussetzen und zusätzlich administrative Maßnahmen vorschreiben.

Die verkehrsrechtlichen Vorschriften basieren auf IAEA-Empfehlungen (International Atomic Energy Agency, Regulations for the Safe Transport of Radioactive Materials), die auch den internationalen Verkehrsvorschriften und den nationalen Verkehrsvorschriften aller IAEA-Mitgliedsstaaten zugrunde liegen.

Durch die verkehrsrechtlichen Vorschriften wird im wesentlichen die Sicherheit der Personen geregelt, die von der Beförderung betroffen sein können. Das sind insbesondere die Bürger, die an den Beförderungswegen wohnen, und die Personen, die die Versandstücke oder Sendungen handhaben und befördern. Dabei wird die Sicherheit sowohl beim unfallfreien Transport als auch bei unterstellten Unfallszenarien betrachtet.

Entsprechend der zugrundeliegenden Sicherheitsphilosophie und im Hinblick auf das Ziel, die Vorschriften für alle Verkehrsträger gleich zu gestalten, wurde die Sicherheit in das Versandstück selbst gelegt. Zusammen mit den Regeln für das Beladen von Fahrzeugen muß durch die Auslegung des Versandstückes erreicht werden, daß

- beim unfallfreien Transport kein Transportarbeiter, der nicht dem besonderen Kreis der strahlenschutzüberwachten Personen angehört, eine höhere Dosis als 5 mSv je Jahr erhält,
- beim unfallfreien Transport kein Mitglied der Bevölkerung eine Dosis von mehr als 1 mSv je Jahr erhält und
- bei Transportunfällen niemand eine höhere Dosis als 30 mSv erhalten kann.

Dafür wurden drei verschiedene Wege gewählt:

1. Begrenzung des radioaktiven Inhalts in nicht unfallsicheren Verpackungen (allgemeine Verpackungen und Typ-A-Versandstücke). Hierunter fällt der größte Teil aller Versandstücke. Sie stammen insbesondere aus dem medizinischen Bereich. Nach Untersuchungen von Referenzabfällen aus dem Jahre 1984 fallen hierunter auch die meisten Versandstücke mit radioaktiven Abfällen, die in der Schachtanlage Konrad endgelagert werden sollen.
2. Vorschriften für Stoffe mit geringen spezifischen Aktivitäten, für die es z. Zt. keine Begrenzung der Gesamtaktivität gibt. Die Sicherheit wird durch die begrenzte spezifische Aktivität gewährleistet. Hierbei handelt es sich ebenfalls um nicht unfallsichere Verpackung des Typs „starke Industrieverpackung“.

3. Keine allgemeine Begrenzung des zulässigen Inhalts in „unfallsicheren“ Verpackungen [Typ-B(U)- oder Typ-B(M)-Versandstücke, wobei „U“ für unilateral und „M“ für multilateral steht]. Hierunter fallen auch Versandstücke, in denen abgebrannte Brennelemente in ein Zwischenlager oder eine Wiederaufarbeitungsanlage transportiert werden.

Die nicht unfallsicheren „starken Industrieverpackungen“ und Typ-A-Verpackungen müssen die Belastungen bei normalen Beförderungsbedingungen und bei Handhabungszwischenfällen aushalten. Diese Fähigkeit muß an Probestücken u.a. durch Wassersprühprüfungen, Freifallprüfungen, Druckprüfungen und Durchstoßprüfungen nachgewiesen werden.

Für radioaktive Stoffe, deren Gefährdungspotential bestimmte Grenzen überschreitet, und für Kernbrennstoffe sind unfallsichere Verpackungen vorgeschrieben. Für diese Typ-B-Versandstücke sehen die nationalen und internationalen Verkehrsvorschriften eine Zulassungspflicht vor, wobei unterschieden wird zwischen

- unilateralen Zulassungen durch die zuständige Behörde des Ursprungslandes des Versandstückes und
- multilateralen Zulassungen, die von den zuständigen Behörden jedes Landes, das von der Sendung berührt wird, anerkannt sein müssen.

Zulassungen für Versandstücke für Kernbrennstoffe bedürfen im allgemeinen – auch gemäß den Empfehlungen der IAEA – der Anerkennung oder Zulassung durch jeden Staat, der von der entsprechenden Sendung berührt wird.

Die in der Bundesrepublik Deutschland zuständige Behörde für die Zulassung von Versandstücken ist die PTB. In enger Zusammenarbeit mit der BAM prüft und begutachtet die PTB – entsprechend einer Richtlinie des Bundesministers für Verkehr – im Zulassungsverfahren insbesondere den Nachweis für folgende Anforderungen:

- mechanische Stabilität,
- thermische Widerstandsfähigkeit,
- ausreichende Abschirmwirkung,

PTB

- sichere Einhaltung der Unterkritikalität bei Kernbrennstoffen und
- qualitätssichernde Maßnahmen bei der Herstellung und während des Betriebs.

Die mechanische Prüfung besteht aus zwei Fallversuchen. Im ersten Fallversuch muß das Probestück aus einer Fallhöhe von 9 m so auf eine unnachgiebige Aufprallplatte fallen, daß es den größtmöglichen Schaden erleidet. Im zweiten Fallversuch muß das Probestück aus 1 m Fallhöhe so auf einen Dorn fallen, daß es wiederum den größtmöglichen Schaden erleidet. Nach dem Bestehen der beiden Fallversuche folgt eine Erhitzungsprüfung während 30 min bei 800 °C Umgebungstemperatur.

Derzeit werden von der PTB je Jahr rund 100 Zulassungen/Anerkennungen für Typ-B-Versandstücke erteilt.

Da das Sicherheitskonzept der IAEA und damit das der verkehrsrechtlichen Vorschriften vollständig auf der Gewährleistung der Sicherheit durch das Versandstück aufbaut, sind verkehrsrechtliche Beförderungsgenehmigungen nur in Einzelfällen gefordert, so bei

- Versandstücken des Typ B(M),
- Versandstücken der nuklearen Sicherheitsklasse III und
- der Beförderung aufgrund besonderer Vorkehrungen.

Im Gegensatz zu den Nuklearen Sicherheitsklassen I und II, bei denen die Versandstücke in beliebiger oder begrenzter Anzahl während der Beförderung als sicher gelten, sind diese Bedingungen bei der Sicherheitsklasse III nicht erfüllt. Deshalb müssen besondere Maßnahmen ergriffen werden, die in der Beförderungsgenehmigung vorgeschrieben werden.

Versandstücke der Sicherheitsklasse III sind Versandstücke, bei denen die nukleare Sicherheit unter allen voraussehbaren Umständen durch besondere Vorichtsmaßnahmen oder besondere administrative oder betriebliche Überwachung während der Beförderung nachzuweisen ist.

Im Atomgesetz und in den damit in Zusammenhang stehenden Verordnungen, wie

Strahlenschutzverordnung und atomrechtliche Deckungsvorsorge-Verordnung, sind Regelungen getroffen, die sich einerseits auf die verkehrsrechtlichen Vorschriften beziehen und andererseits weitere, insbesondere administrative Vorschriften und Voraussetzungen festlegen:

- Nachweis der Zuverlässigkeit von Antragsteller, Beförderer und ausführenden Personen,
- Nachweis der vorhandenen Fachkenntnisse,
- Nachweis der Gewährleistung der Einhaltung der verkehrsrechtlichen Vorschriften (dies ist die verbindende Vorschrift zwischen Verkehrsrecht und Atomrecht),
- Nachweis der Vorsorge für die Erfüllung gesetzlicher Schadensersatzverpflichtungen/Deckungsvorsorge,
- Nachweis des erforderlichen Schutzes gegen Einwirkungen Dritter/Sicherung und
- Nachweis, daß der Wahl der Art, der Zeit und des Weges der Beförderung keine öffentlichen Interessen entgegenstehen.

Eine Gegenüberstellung bzw. eine Gesamtschau der verkehrsrechtlichen und der atomrechtlichen Vorschriften zeigt, daß die beiden Rechtssysteme sich widerspruchlos ergänzen. Geregelt werden durch die Gesamtheit der Vorschriften die Komplexe

- Sicherheit bei der Beförderung,
- Haftung bei Unfällen und
- Sicherung der radioaktiven Stoffe.

Für die Erteilung der Beförderungsgenehmigungen für Kernbrennstoffe und für Großquellen, die sonstige radioaktive Stoffe enthalten, ist die PTB zuständig. Sie erteilt derzeit etwa 350 Genehmigungen jährlich.

Transporte radioaktiver Abfälle zur Schachanlage Konrad wären nichts Neues. Natürlich bleibt auch bei der Beförderung von radioaktiven Stoffen, wie bei allen menschlichen Tätigkeiten, ein Restrisiko bestehen. Daß dieser Risikorest gering ist, beweist die Statistik. Ernsthafte Strahlenschäden bei Transporten sind bisher weltweit nicht bekannt geworden und,

soweit auch die Vorkommnisse im Ostblock zu übersehen sind, nicht aufgetreten.

## Anhang 4 Erklärung von Fachwörtern

Ziel dieser Zusammenstellung ist es, durch eindeutige Begriffe und Definitionen Mißverständnisse auszuschließen und somit einen einheitlichen Sprachgebrauch auf dem Gebiet der Endlagerung radioaktiver Abfälle herbeizuführen. Viele Begriffe entstammen anderen Bereichen und haben dort u.U. eine abweichende Bedeutung. Nicht alle der nachfolgend aufgeführten Begriffe und Definitionen kommen in der vorliegenden Broschüre vor. Der Leser erhält mit dieser ausführlichen Zusammenstellung die Möglichkeit, auch Begriffe nachzuschlagen, auf die er beim Studium weiterführender Literatur stößt.

**Abbau:** Bergmännische Tätigkeit zur planmäßigen Hereingewinnung von nutzbarem Mineral.

**Abfall, radioaktiver:** Nicht schadlos verwertbare radioaktive Stoffe, die geordnet zu beseitigen sind.

**Abfallart:** Art des anfallenden radioaktiven Rohabfalls (z.B. brennbare feste Stoffe, Schrott, Ionenaustauscherharze).

**Abfallbehälter:** Behälter zur Aufnahme eines Abfallprodukts (z.B. Faß, Betonbehälter, Gußbehälter, Container).

**Abfalldatenblatt:** Datenblatt mit endlagerrelevanten Angaben über Abfallgebinde.

**Abfallgebinde:** Endzulagernde Einheit aus Abfallprodukt und Abfallbehälter.

**Abfallklasse:** Abfallklasse bezieht sich auf die Einteilung von Abfallgebänden in Abhängigkeit von der verwendeten Verpackung.

**Abfallmatrix:** Ausgehärtetes Fixierungsmittel, in dem radioaktiver Abfall fixiert ist.

**Abfallprodukt:** Verarbeiteter radioaktiver Abfall ohne Verpackung oder unverarbeiteter radioaktiver Abfall in einem Behälter verpackt.

**Abfallproduktgruppe:** Abfallproduktgruppe umfaßt Abfallprodukte mit vergleichbarem Freisetzungsverhalten von radioaktiven Stoffen.

**Ableitung radioaktiver Stoffe:** Abgabe flüssiger, aerosolgebundener oder gasförmiger radioaktiver Stoffe aus der Anlage auf hierfür vorgesehenen Wegen.

**Abschirmung:** Schutzeinrichtung um radioaktive Quellen bzw. kerntechnische Anlagen, um deren Strahlung nach außen den Erfordernissen entsprechend zu verringern.

**Abteufen:** Herstellen eines seigeren Grubenbaus wie Schacht oder Bohrloch mit unterschiedlichen Verfahrenstechniken, wie Sprengarbeit oder Bohren von Großbohrlöchern.

**Abwasser:** Wasser aus der Anlage, das zur Ableitung bestimmt ist oder abgeleitet worden ist.

**Abwerfen:** Außerbetriebsetzen von Grubenbauen, die nicht mehr benötigt werden.

**Abwetter:** Wetterstrom hinter einem Betriebspunkt bis zum Ausziehschacht.

**Äquivalentdosis:** Produkt aus der Energiedosis und dem Bewertungsfaktor. Die Einheit ist das Sievert (Sv) ( $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$ ).

**Aerosol:** Schwebefähige, feinste Verteilung eines flüssigen oder festen Stoffes in gasförmigen Medien.

**Aktivierung:** Vorgang, durch den ein Material durch Beschuß mit Neutronen, Protonen oder anderen Teilchen radioaktiv gemacht wird.

**Aktivität:** Anzahl der in einem Zeitintervall auftretenden Kernumwandlungen eines Radionuklids oder Radionuklidgemisches dividiert durch die Länge des Zeitintervalls. Die Einheit ist das Becquerel (Bq). Ein Becquerel ist die Anzahl der Kernumwandlungen innerhalb einer Sekunde (früher Curie;  $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$ ).

**Aktivitätskonzentration:** Aktivität je Volumeneinheit.

**Aktivität, spezifisch:** Aktivität je Masseneinheit.

# PTB

**Alpha-Strahlung:** Emission von aus zwei Neutronen und zwei Protonen bestehenden Alpha-Teilchen, die beim radioaktiven Zerfall eines Nuklids entstehen. Dabei nimmt die Ordnungszahl um zwei Einheiten und die Massenzahl um vier Einheiten ab.

**Ankerausbau:** Vorgefertigte Stahlstangen, die über Keilelemente (Spreizanker) oder mittels Kunstharzen (Klebanker), in Bohrlöcher eingebracht, befestigt werden und zum Zusammendübeln nicht zusammenhängender Schichten oder zum Aufhängen loser Gesteinsschalen am festen Gebirge dienen.

**Anlage, kerntechnische:** Anlage zur Erzeugung oder zur Spaltung oder Aufarbeitung von Kernbrennstoffen oder zur Verwahrung, Bearbeitung, Verarbeitung oder sonstigen Verwendung von Kernbrennstoffen.

**Auffahren:** Herstellen einer söhligem oder geneigten Strecke oder eines Grubenbaus.

**Auskeilen:** Allmähliches Dünnerwerden einer Gesteinsschicht.

**Auslegungserdbeben:** Erdbeben mit der für den Standort größten Intensität, das unter Berücksichtigung einer näheren Umgebung des Standortes in der Vergangenheit aufgetreten ist.

**Auslegungsstörfall:** Störfall, der durch Sicherheitseinrichtungen so beherrscht wird, daß die Auswirkungen in der Umgebung unter den vorgegebenen Grenzwerten der Strahlenschutzverordnung bleiben.

**Ausrüstung, maschinelle:** Maschinen und Fahrzeuge im konventionellen Bereich des Endlagerbergwerks.

**Ausstrich (Ausgehendes, Ausbiß):** Schnitt eines Gesteinskörpers mit der Erdoberfläche.

**Ausziehschacht:** Abwetteröffnung einer Grube mit Ventilator (saugend) über Tage.

**Bank:** Durch (Schicht-)Fugen begrenzte Gesteinsschicht.

**Barrieren:** Hindernisse zwischen den Quellen ionisierender Strahlung und der Biosphäre.

**Barrieren, geologische:** Geologische Gegebenheiten zur Verhinderung von z. B. unzulässigen Freisetzungen von radioaktiven Stoffen (z. B. Endlagerformation, Nebengestein, Deckgebirge).

**Beta-Strahlung:** Emission von Elektronen positiver oder negativer Ladung, die beim radioaktiven Zerfall eines Nuklids entstehen.

**Betrieb, anomaler:** Betriebsvorgänge, die bei Fehlfunktion von Anlagenteilen oder Systemen (gestörter Zustand) ablaufen, soweit hierbei einer Fortführung des Betriebes sicherheitstechnische Gründe nicht entgegenstehen.

**Betrieb, bestimmungsgemäßer:** Betriebsvorgänge, für die die Anlage bei funktionfähigem Zustand der Systeme (ungestörter Zustand) bestimmt und geeignet ist.

**Betriebspunkt:** Arbeitsplatz im Untertagebetrieb, an dem bergmännische Arbeiten durchgeführt werden (Streckenvortrieb, Abbau, Kippstelle usw.).

**Bewetterung:** Planmäßige Versorgung der Grubenbaue mit frischer Luft.

**Bilanzierung:** Bilanzierung radioaktiver Stoffe besteht aus der Identifizierung und Aktivitätsbestimmung der abgeleiteten Radionuklide oder Radionuklidgruppen und dem Vergleich mit den zugehörigen atomrechtlichen oder wasserrechtlichen Genehmigungswerten.

**Biosphäre:** Belebte Zone der Erde.

**Bituminierung:** Fixierung von radioaktivem Abfall in einer Bitumenmatrix.

**Bobine:** Seilträger einer Fördermaschine für das Abteufen von Schächten, die als Förderseil ein Flachseil benutzt. Das Flachseil hat keinen Drall und kann übereinanderliegend aufgewickelt werden.

**Brandlast:** Verbrennungswärme der in einem Raum enthaltenen brennbaren Stoffe,

zu denen auch Wandverkleidungen, Trennwände, Böden, Decken und ihre Anstriche gehören können.

**Brennelement:** Spaltstoff enthaltendes Bauteil, das beim Laden und Entladen eines Reaktors eine Einheit bildet.

**Brennstoffkreislauf:** Verfahrensstufen bei der Versorgung und Entsorgung von Kernreaktoren mit Kernbrennstoff, bestehend aus Uranbergbau, Brennstoffanreicherung, Fabrikation der Brennelemente, Wiederaufarbeitung, Brennelementlagerung und Endlagerung radioaktiver Abfälle.

**Crush/Impact:** Quetsch- oder Penetrationsbelastung der Abfallgebände.

**Deckgebirge:** Die Lagerstätte überdeckende Gebirgsschichten.

**Dekontamination:** Säuberung der Oberfläche nicht radioaktiver Gegenstände, die mit radioaktiven Teilchen behaftet sind, mit chemischen oder physikalischen Verfahren (z. B. Abwaschen oder Reinigung mit Chemikalien). Dekontamination von Stoffströmen wie Luft oder Wasser wird mit Filtern bzw. Verdampfen und Ausfällen durchgeführt.

**Denudation:** Flächenhafte Abtragung der Erdoberfläche durch Wasser, Wind u. a.

**Diagenese:** Verfestigung lockerer Sedimente zu Festgesteinen, z. B. Kalkschlamm zu Kalkstein.

**Diapirismus:** Durchdringung der überlagernden Schichten durch Gesteinsmassen, insbesondere durch Steinsalz, infolge von Plastizität.

**Diffusor:** Trichterförmig erweitertes Rohr zur allmählichen Verzögerung der Abwetter, um eine Verwirbelung der Strömung und damit Strömungsverluste zu verhindern.

**Dokumentation:** Systematische Zusammenstellung von Unterlagen.

**Dosimeter:** Instrument zur Messung der Ionendosis, Energiedosis oder Äquivalentdosis.

**Dosis:** Strahlenenergie, die bei der Wechselwirkung einer ionisierenden Strahlung mit Materie an diese abgegeben wird. Die verschiedenen Strahlungsarten unterscheiden sich durch ihre biologische Wirksamkeit. Um dieser verschiedenen Wirksamkeit Rechnung zu tragen, multipliziert man die Energiedosis mit einem Bewertungsfaktor und erhält so ein neues Maß für die Dosis, die man als Äquivalentdosis (Röntgenäquivalent) für den Menschen bezeichnet und durch die Abkürzung Sv (Sievert) charakterisiert, (früher rem) „roentgen equivalent man“  $1 \text{ rem} = 1000 \text{ mrem}$ ,  $1 \text{ rem} = 0,01 \text{ Sv}$ .

**Dosisleistung:** Quotient aus der Dosis und der Zeit.

**Einfallen:** Neigung einer Gebirgsschicht gegen die Horizontalebene nach Größe und Richtung.

**Einlagerungskammer:** Für die Endlagerung radioaktiver Abfälle hergestellter Grubenbau mit  $40 \text{ m}^2$  Querschnitt.

**Einrichtung, maschinelle:** Maschinen und Fahrzeuge im Kontrollbereich des Endlagerbergwerks.

**Emission:** Aussendung, Ausstrahlung.

**Endlagerung:** Wartungsfreie, zeitlich unbefristete und sichere Beseitigung von radioaktivem Abfall ohne beabsichtigte Rückholbarkeit.

**Endlagerungsbedingungen:** Unter Berücksichtigung von standortspezifischen Gegebenheiten festgelegte Anforderungen an endzulagernde Abfallgebände.

**Energiedosis:** Quotient aus der Energie, die durch ionisierende Strahlung auf das Material in einem Volumenelement übertragen wird, und der Masse in diesem Volumenelement. Die Einheit ist das Gray (Gy) ( $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$ ).

**Entladekammer:** Umladestelle zwischen Transportwagen und Stapelfahrzeug.

**epirogen:** Großräumige tektonische Vorgänge, die über lange geologische Zeiten andauern.

**Epizentrum:** Senkrecht über einem Erdbebenherd an der Erdoberfläche liegende Stelle.

**Erosion:** Abtragung der Erdkruste durch Wasser, Wind usw.

**Evaporite:** Aus wäßrigen Lösungen durch Verdunstung des Lösungsmittels Wasser gebildete Minerale und Gesteine.

**Exploration:** Aufsuchen von Lagerstätten.

**Expositionspfad, relevant:** Von den möglichen Wegen der radioaktiven Stoffe durch die verschiedenen Stadien des Ökosystems werden die als relevant bezeichnet, die nach heutigem Kenntnisstand entweder durch Inkorporation (über Ernährungsketten) oder Inhalation oder durch externe Bestrahlung nennenswert zur Strahlenexposition eines Menschen beitragen können.

**Fallout:** Radioaktives Material, das z.B. nach einer Kernexplosion auf die Erde zurückfällt.

**Fazies:** Verschiedene Ausbildung von Gesteinen.

**Feld:** Raum, innerhalb dessen einem Bergwerkseigentümer das alleinige Recht zum Aufsuchen und zur Gewinnung eines Minerals zusteht. Allgemein gebräuchlicher Begriff zur betrieblichen Orientierung innerhalb eines Grubengebäudes.

**Feste:** Zwischen Grubenräumen stehende bleibende Lagerstättenteile, die den Zusammenhang des Gebirges gewährleisten und nicht abgebaut wird.

**Firste:** Obere Grenzfläche eines Grubenbaus.

**Fixierung:** Verfestigen, Einbinden oder Vergießen von ggf. vorbehandeltem radioaktivem Abfall.

**Fixierungsmittel:** Material zur Fixierung von radioaktivem Abfall (z.B. Glas, Zement, Beton, Bitumen, Kunststoff).

**fluviatil:** Von Flüssen ausgearbeitet, fortgetragen, abgelagert oder angereichert.

**Formation:** Einheit genetisch zusammengehöriger Gesteine, früher nur im stratigraphischen Sinne verwendet.

**Formationswässer:** In Gesteinsschichten gespeicherte fossile wäßrige Lösungen.

**Freisetzung:** Entweichen von radioaktiven Stoffen aus einem durch eine oder mehrere Barrieren begrenzten Bereich (z.B. aus Abfallprodukt, Abfallbinde, Einlagerungskammer, Endlager).

**Füllort:** Grubenbau im unmittelbaren Schachtbereich zur Be- und Entladung des Förderkorbes.

**Gamma-Strahlung:** Die Gamma-Strahlung ist eine hochenergetische, kurzwellige Strahlung, die von einem Atomkern ausgestrahlt wird. Sie tritt häufig zusammen mit der Alpha- und Beta-Strahlung auf, da sich nach Austritt eines Alpha- oder Beta-Teilchens der neue Kern in einem energetisch angeregten Zustand befinden kann und erst durch Aussenden eines Gamma-Quants bestimmter Energie in den Grundzustand übergeht. Auch beim Einfang eines Elektrons in der K-Schale oder bei einer inneren Konversion an der K-Schale wird charakteristische Röntgenstrahlung (Gamma-Strahlung) ausgesandt.

**Ganzkörperdosis:** Mittelwert der Äquivalentdosis über Kopf, Rumpf, Oberarme und Oberschenkel als Folge einer als homogen angesehenen Bestrahlung des ganzen Körpers.

**Gestellförderung:** Schachtförderung, bei der Förderwagen im Förderkorb zu Tage gefördert werden.

**Gleisfördereinrichtung:** Einrichtung zum Verschieben der Plateauwagen, zwischen den Schienen angeordnet.

**Großbohrloch:** Meist drehbohend hergestelltes Bohrloch von mehr als 65 mm Durchmesser.

**Grubenbau:** Planmäßig bergmännisch hergestellter Hohlraum unter Tage.

**Grubengebäude:** Gesamtheit der Grubenbaue einer Schachtanlage.

**Grubenwasser:** Dem Grubengebäude zufließende Wässer unterschiedlicher Herkunft.

**Halbwertszeit:** Die Zeit, in der die Hälfte der Kerne eines Radionuklids zerfällt.

**Halokinese:** Verformungsvorgänge, die auf Dichteunterschiede zwischen Evaporiten einerseits sowie dem Deckgebirge und Nebengestein andererseits zurückzuführen sind.

**Hangendes:** Das eine Bezugsschicht überlagernde Gestein.

**Haufwerk:** Bergmännisch gewonnenes Gestein.

**Hauptgrubenlüfter:** Für die Bewetterung benötigter Lüfter, der den Gesamtwetterstrom aufrecht erhält.

**Höhenstrahlung:** Verschiedenartige Strahlung, die direkt oder indirekt aus Quellen außerhalb der Erde herrührt. Sie ist Teil des natürlichen Strahlungspegels.

**Immission:** Einwirkung von Luftfremdstoffen, Geräuschen und Erschütterungen auf Menschen, Tiere und auf die Vegetation.

**Individualdosis:** Ganz- oder Teilkörperdosis, die von einer Person akkumuliert wird.

**Ingestion:** Aufnahme von radioaktiven Stoffen in den menschlichen Organismus durch Nahrungsmittel.

**Inhalation:** Aufnahme von radioaktiven Stoffen in den menschlichen Organismus durch Einatmen.

**Inkorporation:** Aufnahme radioaktiver Stoffe in den menschlichen Organismus (Körper).

**Innenbehälter:** Behälter zur Aufnahme von Abfallprodukten, der in Abfallbehälter eingesetzt wird.

**Intensität:** Beschreibt das Ausmaß der Einwirkung seismischer Wellen und Dislokationen an der Erdoberfläche auf Menschen, Bauwerke und Landschaft. Zur Klassifizierung wird die 12gradige Skala MSK 1964 (MEDVEDEV, SPONHEUER,

KARNIK) verwendet. Eine Kurzcharakteristik dieser Skala (siehe Anlage zu den Erklärungen von Fachwörtern, Seite 54).

**Isotope:** Atome derselben Kernladungszahl, jedoch unterschiedlicher Neutronenzahl.

**Kammer:** Abbauraum von meist rechteckigem Grundriß, dessen Abmessungen erheblich größer sind als die von Strecken, Örtern oder Streben. Zwischen den Kammern bleiben Bergfesten oder Pfeiler zum Schutz der Kammer bzw. der Lagerstätte stehen.

**Kammer-Pfeilerbau:** Abbauverfahren mit kammerartiger Bauweise.

**Kaue:** Wasch- und Umkleideraum.

**Kernbrennstoffe:** Spaltbare Materialien in Form von Uran als Metall, Legierung oder chemische Verbindung (einschließlich natürlichen Urans), Plutonium als Metall, Legierung oder chemische Verbindung.

**Klüfte:** Im Gebirge z. B. durch tektonische Vorgänge entstandene Risse.

**Konditionierung:** Herstellung von Abfallgebinden durch Verarbeitung und/oder Verpackung von radioaktivem Abfall.

**Kontamination:** Unerwünschte Verunreinigung von Arbeitsflächen, Geräten, Räumen, Wasser, Luft usw., z. B. mit radioaktiven Stoffen.

**Kontrollbereich:** Bereich, in dem infolge der Anwendung ionisierender Strahlen oder des Umganges mit radioaktiven Stoffen die Möglichkeit besteht, daß Personen durch Bestrahlung von außen oder durch Inkorporation radioaktiver Stoffe im Kalenderjahr eine höhere Körperdosis als 3/10 der Grenzwerte der Anlage X, Spalte 2 zu § 49 Strahlenschutzverordnung bei einem Aufenthalt von 40 Stunden je Woche erhalten können.

**Konvergenz:** Zeit- und temperaturabhängiger natürlicher Prozeß der Volumenreduzierung von untertägigen Hohlräumen infolge Verformung bzw. Auflockerung aufgrund des Gebirgsdrucks.

**Kritikalität:** Ein Spaltstoffsystem ist kritisch, wenn die Zahl der durch Spaltung erzeugten Neutronen gleich oder größer ist als die Zahl der durch Kernreaktionen absorbierten Neutronen und das System damit den Zustand einer sich selbst unterhaltenden Kettenreaktion erreicht. Die Kenngröße für die Kritikalität ist der infinite Multiplikationsfaktor  $K_{\infty}$ . Ein Spaltstoffsystem ist unterkritisch, wenn  $K_{\infty} < 1$  ist.

**Lagerstätte:** Anreicherungszone von Rohstoffen und Mineralien im Bereich der Erdkruste.

**Leichtwasserreaktor:** Kernreaktoren, die natürliches Wasser  $H_2O$  zur Bremsung (Moderierung) von schnellen Neutronen und zur Wärmeabfuhr benutzen; im Gegensatz dazu stehen z. B. Schwerwasserreaktoren, die mit schwerem Wasser  $D_2O$  (Deuterium) arbeiten. Je nach Bauart unterscheidet man Druckwasserreaktoren (DWR) und Siedewasserreaktoren (SWR).

**Leittechnik:** Führung technischer Prozesse mit den Mitteln der Steuerung und Regelung.

**LHD-Verfahren:** Bezeichnung für ein Arbeitsverfahren, bei dem gummibereifte Diesel-Fahrlader Haufwerk an einer Stelle aufnehmen (engl.: Load), zu einer Abwurfstelle fördern (engl.: Haul) und dort in einen Bunker oder ein Rolloch abwerfen (engl.: Dump).

**Liegendes:** Das eine Bezugsschicht unterlagernde Gestein.

**Lutte:** Rohr zum Leiten eines Teilwetterstromes.

**Magnitude:** Maß der von einem Beben freigesetzten seismischen Wellenenergie. Die Zunahme um eine Magnitudeneinheit bedeutet eine Vergrößerung der Energie um das 30fache (Für das bisher größte aufgezeichnete Beben, das 1964 in Alaska stattfand, wird eine Magnitude von  $M = 8.8$  angegeben. Dies entspricht einer freigesetzten Wellenenergie von über  $10^{17}$  J, früher  $10^{24}$  erg;  $1 \text{ erg} = 10^7 \text{ J}$ ).

**Markscheide:** Begrenzung eines Grubenfeldes.

**Migration:** Bewegung von Wasser, Lösungen, Öl und Gas durch poröse und permeable Gesteine sowie Gesteinsschichten.

**Nachbetriebsphase:** Zeitraum nach der Stilllegung des Endlagerbergwerks.

**Nahrungskette:** Beziehung zwischen Organismen, bei denen das folgende Glied vom Verzehr des vorhergehenden lebt.

**Nebengestein:** Im Hangenden und Liegenden einer Lagerstätte unmittelbar angrenzendes Gestein.

**Nuklid:** Atome bestehen aus Kern und Hülle; die Bestandteile des Kernes – Neutronen und Protonen – werden als Nukleonen bezeichnet; unterschiedliche Anzahl von Protonen und Neutronen ergeben die Atomarten, die als Nuklide bezeichnet werden.

**Oolith:** Aus zahlreichen Ooiden zusammengesetztes Gestein. Als Ooid wird ein kugelförmiger Körper aus Kalk oder anderen Stoffen bezeichnet, bei dem sich um ein Fremdteilchen konzentrische Schalen abgeschieden haben.

**Ortsdosis:** Äquivalentdosis für Weichteilgewebe, gemessen an einem bestimmten Ort.

**Permeabilität:** Durchlässigkeit eines Gesteins für Flüssigkeiten und Gase, abhängig von der Querschnittsgröße und -form der einzelnen Fließkanäle, deren räumlichem Verlauf und ihrer gegenseitigen Verknüpfung.

**Petrographie (Gesteinskunde):** Wissenschaftszweig, der sich mit der Zusammensetzung der Gesteine, ihrem natürlichen Vorkommen, ihrem Verhältnis zueinander und ihrer Bildung und Umbildung befaßt.

**Plateauwagen:** Nichtangetriebenes, gleisgebundenes Fahrzeug.

**Porosität:** Das Gesamtvolumen eines Gesteins setzt sich aus dem Volumen der festen Bestandteile und dem Volumen der Hohlräume oder Poren im Gestein zusammen. Die Porosität ist definiert als das Ver-

hältnis von Porenvolumen zu Gesamtvolumen des Gesteins.

**Pral:** Stoß oder stoßartige Belastung von Abfallgebänden.

**Preßling:** Mit hohem Druck ggf. in einer Metallkartusche oder -trommel zusammengepreßter fester radioaktiver Abfall.

**Produktkontrolle:** Nachweis der Einhaltung der Endlagerungsbedingungen von Abfallgebänden.

**Quellterm:** Mathematische Funktion, die die Freisetzung von radioaktiven Stoffen (z.B. aus Abfallprodukt, Abfallgebinde, Einlagerungskammer, Endlager) beschreibt.

**Querschlag:** Etwa rechtwinklig zum Streichen der Lagerstätte aufgefahrene Strecke.

**Radioaktivität:** Als Radioaktivität wird der Vorgang des spontanen, ohne äußere Einwirkung stattfindenden Zerfalls von Atomkernen, sogenannten Radionukliden, bezeichnet. Radionuklide wandeln sich in andere Nuklide um, wobei eine charakteristische Alpha-, Beta- oder Gamma-Strahlung ausgesendet wird. Es gibt sowohl in der Natur vorkommende, natürliche Radionuklide, als auch durch kernphysikalische Prozesse erzeugte Radionuklide.

**Radiolyse:** Zersetzung einer Substanz durch die Einwirkung ionisierender Strahlung.

**Radionuklid:** Instabiles Nuklid, das spontan ohne äußere Einwirkung unter Strahlungsemission zerfällt. Über 1200 natürliche und künstliche Radionuklide sind bekannt.

**Radiotoxizität:** Auf der Emission ionisierender Strahlung beruhende „Giftigkeit“ eines Stoffes.

**Rampe:** Befahrbare geradlinige Verbindung zwischen den Sohlen.

**Referenzabfall:** Kategorisierter und im Rahmen von Bandbreiten sicherheitsanalytisch überprüfter radioaktiver Abfall für die Endlagerung.

**Reflexionsseismik:** Durch Registrierung der Laufzeiten von künstlich erzeugten Wellen, die an Schichtgrenzen zurückgeworfen werden, besteht die Möglichkeit, die Tiefe der Schichten zu berechnen.

**Richtstrecke:** Im Streichen der Lagerstätten aufgefahrene Strecke.

**Rohabfall:** Unverarbeiteter radioaktiver Abfall.

**Salzkissen:** Flache kuppelförmige Salzaufwölbungen.

**Salzstock (Salzdiapir, Salzdom):** Im Verlauf des Salzaufstieges reißt das Salz die überlagernden Deckschichten auf, dringt in die sich bildenden Spalten oder Schlotte ein und erweitert diese allmählich.

**Schachthalle:** Gebäude um den Schacht mit Schachtbeschickungseinrichtungen.

**seiger:** Senkrecht.

**Seilfahrt:** Personenbeförderung im Schacht mit Hilfe der Schachtfördereinrichtungen.

**Seismizität:** Häufigkeit und Stärke der Erdbeben einer Region.

**Seitenstapelfahrzeug:** Fahrzeug zur Handhabung der Transporteinheiten zwischen Umladehalle und Pufferhalle.

**Sicherheitsanalyse:** Berechnungen und Untersuchungen möglicher radiologischer Auswirkungen eines Endlagers im bestimmungsgemäßen Betrieb, in der Nachbetriebsphase und bei Störfällen.

**Sohle:** 1. Gesamtheit der annähernd in einem Niveau aufgefahrenen Grubenbaue.  
2. Untere Grenzfläche eines Grubenbaus.

**Sonderbewetterung:** Versorgung von nicht durchschlägigen Grubenbauen mit Luft durch Lutten und Luttenlüfter.

**Sorption:** Aufnahme eines Gases oder gelösten Stoffes durch einen anderen festen oder flüssigen Stoff.

**Spallation:** Kernumwandlung, bei der ein energiereiches Geschoßteilchen aus dem

getroffenen Atomkern zahlreiche einzelne Teilchen (Protonen, Neutronen) heraus schlägt.

**Spaltprodukte:** Nuklide, die durch Spaltung oder den nachfolgenden radioaktiven Zerfall der durch Spaltung direkt entstandenen Nuklide entstehen.

**Spurlatte:** Führungsschiene des Schachtfördermittels, z.B. Förderkorb, Fördergefäß.

**Stapelfahrzeug:** Fahrzeug zum Transport der Transporteinheit von der Entladekammer zur Einlagerungsstelle und zum Einlagern der Einlagerungseinheit.

**Störfall:** Ereignisablauf, bei dessen Eintreten der Betrieb der Anlage oder die Tätigkeit aus sicherheitstechnischen Gründen nicht fortgeführt werden kann und für den die Anlage ausgelegt ist oder für den bei der Tätigkeit vorsorglich Schutzvorkehrungen vorgesehen sind.

**Stoß (bergbaulich):** 1. Angriffsfläche für die Gewinnung.  
2. Die seitliche Begrenzungsfläche eines Grubenbaus.

**Strahlenexposition:** Einwirkung ionisierender Strahlen auf den menschlichen Körper.

**Strahlenschutz:** Voraussetzungen und Maßnahmen zum Schutz des Menschen vor schädlichen Wirkungen ionisierender Strahlen.

**Strahlung, ionisierende:** Jede Strahlung, die direkt oder indirekt ionisiert, z.B. Alpha-, Beta-, Gamma-, Neutronen-Strahlung.

**Stratigraphie (Formationskunde):** Lehre von der Aufeinanderfolge der Gesteinsschichten und ihre altersmäßige Zuordnung.

**Strecke:** Tunnelartiger Grubenbau, der nahezu söglich aufgefahren ist.

**Streichen:** Richtung der Schnittlinie einer geologischen Fläche mit der Horizontalebene bezogen auf die Nordrichtung.

**Submersion:** Einwirkung ionisierender Strahlung auf den menschlichen Organismus aus einer in Luft großräumig verteilten Quelle.

**Subrosion:** Unter der Erdoberfläche stattfindende Auflösung von Salzgesteinen durch Grundwasser oder ungesättigte Lösungen.

**syngenetisch:** Gleichzeitig mit ihrer Umgebung entstanden.

**Tauschpalette:** U-förmige Transporteinheit mit bis zu 3 zylindrischen Behältern (Betonbehälter, Gußbehälter).

**Teilschnittmaschine:** Vortriebsmaschine zum Auffahren von Grubenbauen mit abschnittsweiser Bearbeitung des Stoßes.

**Tektonik:** Lehre vom Bau der Erdkruste und den Bewegungsvorgängen der einzelnen Krustenteile.

**terrestrisch:** Bezeichnung für alle Vorgänge, Kräfte und Formen, die auf dem festen Lande vorkommen.

**Teufe:** Tiefenlage unter der Tagesoberfläche.

**Thermolumineszenzdosimeter:** Radiothermolumineszenz ist die Eigenschaft eines Kristalls bei Erwärmung Licht auszusenden, wenn dieses vorher ionisierender Strahlung ausgesetzt war. Man nutzt zur Dosisbestimmung z. B. den Radiothermolumineszenzeffekt von Kalzium- oder Lithiumfluorid.

**Tiefe:** Lage unter NN.

**Tochter nuklid:** Das beim radioaktiven Zerfall entstehende Nuklid. Es kann selbst radioaktiv sein und besitzt dann eine eigene charakteristische Strahlung und Halbwertszeit.

**Transgression:** Vordringen des Meeres über größere Gebiete des Festlands.

**Transporteinheit:** Container Typ I bis Typ VI und Tauschpalette.

**Tritium:** Radioaktives Isotop des Wasserstoffs (H3) mit zwei Neutronen und einem Proton im Kern, das mit einer Halbwertszeit von 12,3 Jahren zerfällt.

**Trum:** Teil des Schachtes, z. B. Fördertrum.

**Umladehalle:** Halle zur Übernahme der Transporteinheiten vom Waggon oder Lkw bzw. Übergabe der Tauschpalette an Waggon und Lkw.

**Unterwerksbau:** Abbau unterhalb der tiefsten an einen Schacht angeschlossenen Fördersohle.

**Verfüllen:** Einbringen von Haufwerk geeigneter Korngröße in befüllte Einlagerungskammern mit dem Ziel der Minimierung verbleibender Resthohlräume.

**Verhieb:** Art und Weise, in der der in Angriff genommene Lagerstättenteil in einem Bergwerk hereingewonnen wird.

**Verpackung:** Gesamtheit der ein Abfallprodukt umschließenden nicht wiederverwendbaren Behälter.

**Versatz:** Verfüllung der beim Abbau entstandenen bzw. Verringerung der nach der Einlagerung von radioaktiven Abfällen noch offenen Hohlräume (z. B. Blasversatz, Schleuderversatz).

**Verschließen:** Abtrennung befüllter Einlagerungshohlräume gegen das offene Grubengebäude mit Dämmen.

**Vorflut:** Natürliche (Fluß, Bach) oder künstlich geschaffene Möglichkeit (Kanal, Pumpwerk), zufließendes Wasser abzuführen.

**Vortrieb:** Bergmännisches Auffahren von Hohlräumen.

**Washout:** Aerosole, die durch Regen ausgewaschen werden.

**Wendel:** Befahrbare Verbindung zwischen Sohlen, die den Höhenunterschied serpentinenartig oder spiralförmig überwindet.

**Wetter:** Grubenluft.

**Wetterabteilung:** Vorgeschriebene wettertechnisch kleinste Einheit von Grubenbauen mit Anfangs- und Endpunkten, zwischen denen keine zusätzlichen Wetter zu- oder abströmen dürfen.

**Wetterführung:** Planmäßige Lenkung der Wetter durch das Grubengebäude.

**Wiederaufarbeitung:** Anwendung chemischer Verfahren, um aus abgebranntem Kernbrennstoff nach seiner Nutzung im Reaktor die Wertstoffe – das noch vorhandene Uran und den neu entstandenen Spaltstoff Plutonium – von den Spaltprodukten, den radioaktiven Abfällen, zu trennen.

**Zechenbuch/Betriebshandbuch:** Sammlung sämtlicher Betriebsvorschriften.

**Zementierung:** Fixierung von radioaktivem Abfall in einer Zementstein-/Betonmatrix.

**Zerfallsreihe, radioaktiv:** Gesamtheit der Radionuklide, die durch radioaktive Umwandlung auseinander hervorgehen.

### Anlage zur Erklärung von Fachwörtern Kurzform der zwölfteiligen makroseismischen Intensitätsskala MSK 1964 (SPONHEUER, 1965)

Intensität: Beobachtungen

- I Nur von Erdbebeninstrumenten registriert.
- II Nur ganz vereinzelt von ruhenden Personen wahrgenommen.
- III Nur von wenigen verspürt.
- IV Von vielen wahrgenommen. Geschirr und Fenster klirren.
- V Hängende Gegenstände pendeln. Viele Schlafende erwachen.
- VI Leichte Schäden an Gebäuden, feine Risse im Verputz.
- VII Risse im Verputz, Spalten in den Wänden und Schornsteinen.
- VIII Große Spalten im Mauerwerk. Giebelteile und Dachgesimse stürzen ein.
- IX An einigen Bauten stürzen Wände und Dächer ein, Erdbeben.
- X Einstürze von vielen Bauten. Spalten im Boden bis 1 m Breite.
- XI Viele Spalten im Boden, Erdbeben in den Bergen.
- XII Starke Veränderungen an der Erdoberfläche

The logo for PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) is centered within a gray square. The letters 'PTB' are rendered in a bold, black, sans-serif font. The 'T' is positioned above the 'P' and 'B', with its horizontal bar extending across the width of both letters.

**PTB**