

**Technischer Überwachungs-Verein  
Hannover/Sachsen-Anhalt e.V.**

**Hauptabteilung Energietechnik und Anlagensicherheit**

---

## **Endlager für radioaktive Abfälle**

### **Schachtanlage Konrad**

**Stellungnahme zu unbeabsichtigten  
menschlichen Einwirkungen auf das  
Endlager Konrad in der Nachbetriebsphase**



**erstellt im Auftrag des Niedersächsischen Umweltministeriums**

**Juli 1994**

Stellungnahme  
zu  
unbeabsichtigten menschlichen  
Einwirkungen auf das  
Endlager Konrad in der  
Nachbetriebsphase  
(GK-100.07.2)

Juli 1994

## Inhaltsverzeichnis

		Seite
1	Einleitung	3
2	Internationale Vorgehensweise	3
2.1	Allgemeines	3
2.2	ICRP-Empfehlungen	4
2.3	Belgien	5
2.4	USA	5
2.5	Finnland	7
2.6	Frankreich	8
2.7	Großbritannien	9
2.8	Kanada	10
2.9	Niederlande	11
2.10	Schweden	11
2.11	Schweiz	12
2.12	Internationaler Stand	12
3	Bewertung des Standortes Konrad	14
4	Szenarien für das Endlager Konrad	20
4.1	Szenarienauswahl	20
4.2	Niederbringen einer Tiefbohrung	21
5	Strahlenexpositionen	23
5.1	Bestimmung des Aktivitätsinventars	23
5.2	Strahlenexposition des Bohrpersonals	24
5.3	Strahlenexposition der Bevölkerung	26
6	Kontamination der Erzlagerstätte	27
7	Tabellen	30
8	Literaturverzeichnis	35

## 1 Einleitung

Das Niedersächsische Umweltministerium hat den Technischen Überwachungs-Verein Hannover/Sachsen-Anhalt e. V. gebeten, eine Studie zu menschlichen Einwirkungen auf das Endlager in der Nachbetriebsphase zu erstellen /1/.

Grundlage der gutachterlichen Stellungnahme ist eine vom Antragsteller vorgelegte Studie /2/; außerdem stellen wir die internationale Vorgehensweise zu dieser Problematik dar. An dieser Stellungnahme haben die GRS, das NLFb und das Oberbergamt mitgearbeitet. Die GRS hat im Kapitel 2 die internationale Vorgehensweise und die international festgelegten Schutzziele zusammengestellt; die geologische Bewertung des Standortes Konrad im Kapitel 3 erfolgte durch das NLFb. Die bohrtechnischen Randbedingungen für die von uns betrachteten Szenarien haben wir mit dem Oberbergamt abgestimmt.

## 2 Internationale Vorgehensweise

### 2.1 Allgemeines

Die Berücksichtigung menschlicher Aktivitäten in den Szenarienanalysen zum Nachweis der Langzeitsicherheit wurde schon frühzeitig in den internationalen Regelwerken gefordert. Internationale Arbeitsgruppen, z. B. der IAEA und der NEA, bekräftigen die Notwendigkeit zur Behandlung dieser Problematik und haben Vorschläge für die Vorgehensweise bei der Behandlung von menschlichen Aktivitäten ("human activities") in Sicherheitsanalysen erarbeitet /3/. Die Experten der einzelnen Länder sind sich jedoch auch einig darüber, daß eine allgemein anerkannte Regelung zur Behandlung menschlicher Aktivitäten derzeit noch nicht vorliegt. Daher sind zur Erarbeitung entsprechender Kriterien internationale Arbeitsgruppen, z. B. der OECD, ins Leben gerufen worden.

Im folgenden wird ein kurzer Abriß über die derzeitige Behandlung der Problematik menschlicher Aktivitäten in Sicherheitsanalysen im internationalen Raum gegeben.

## 2.2 ICRP-Empfehlungen

Die ICRP geht in ihren Veröffentlichungen von einem System der Dosisbegrenzung aus und nennt drei Prinzipien zur Umsetzung der Limitierung: Rechtfertigung, Optimierung und Dosis-Grenzwerte. Die ICRP-Publikation 46 /9/ führt Grenzwerte für Individualdosen ein; die Individualdosis der über ein Menschleben gemittelten Jahresdosis, hervorgerufen durch normale Entwicklungen am Standort, wird auf 1 mSv/a begrenzt. Unter der Annahme, daß für Langzeitbelastungen eine Relation zwischen den Strahlenschäden und der Dosisbelastung von  $10^{-2}$  pro Sievert anzusetzen ist, gelangt man mit dem Grenzwert 1 mSv/a zum Risikogrenzwert von  $10^{-5}$ /a. Allerdings nennt die ICRP-Publikation 60 /30/ ein um den Faktor 5 höheres Mortalitätsrisiko.

Neben der Vorgabe der Grenzwerte für Individualdosen führt die ICRP 46 auch einen Risikogrenzwert für Individualdosen ein. Dabei wird das Risiko definiert als die Summe der Wahrscheinlichkeiten schwerer gesundheitlicher Schäden aus allen Ereignissen. Als Grenzwert dieses Risikos wird  $10^{-5}$ /a, d. h.  $10^{-5}$  schwere gesundheitliche Strahlenschäden pro Jahr, als untere Grenze vorgeschlagen.

In den Sicherheitsanalysen wird für Szenarien, die zu Dosisbelastungen über eine Lebensdauer führen, der jeweils stringente Grenzwert (Grenzwert der Individualdosis oder Risikogrenzwert) zur Anwendung gebracht.

### 2.3 Belgien

Belgien verfügt derzeit über kein spezifisches Regelwerk für Endlager für radioaktive Abfälle /4/. Wie in vielen anderen Ländern liegen Regeln zum Schutz der beruflich exponierten Menschen und der Bevölkerung in Anlehnung an die ICRP-Empfehlungen vor.

### 2.4 USA

Im Regelwerk der USEPA 40 CFR Part 191 /5/, der NRC Rule 10 CFR Part 60 /6/ und der DOE Richtlinie 10 CFR Part 960 /7/ sind sehr detailliert die Anforderungen an die Auslegung eines Endlagers zur Gewährleistung der Langzeitsicherheit vorgegeben. Wesentliche Aussagen der USEPA-Regel sind:

- Vorgabe von Grenzwerten für die kumulative Freisetzung radioaktiver Stoffe aus dem Endlager,
- Forderungen an die Standortbedingungen, die über einen Zeitraum von  $10^4$  a eine Begrenzung der Freisetzung von Radioaktivität in die Umgebung des Endlagers ("accessible environment") gewährleisten,
- eine Reihe von qualitativen Anforderungen, wie z. B. an die institutionelle Kontrolle des Standortes über hundert Jahre und mehr, und
- Gewährleistung des Individualschutzes (0,25 mSv/a Ganzkörperbelastung oder 0,75 mSv/a für kritische Organe) und der Schutz des Grundwassers über einen Zeitraum von  $10^3$  a.

Diese Forderungen gelten für das ungestörte Endlager. Das DOE hat eine Methode zur Durchführung von Szenarienanalysen im Rahmen von Sicherheitsanalysen entwickelt. Mit dieser Methode werden die Szenarien systematisch untersucht und solche in der Sicherheitsanalyse weiter behandelt, die das Barrierenverhalten

des Endlagers beeinträchtigen. Im NEA-Bericht /4/ wird auf die Schwierigkeiten bei der Beurteilung menschlicher Aktivitäten verwiesen. Insbesondere bestehen Probleme

- bei der Erarbeitung einer umfassenden Liste von Einwirkungsmöglichkeiten durch den Menschen,
- bei der Ermittlung ihrer Eintrittswahrscheinlichkeiten sowie
- bei der Kombination dieser Szenarien mit anderen Effekten der Sicherheitsanalyse.

Aus der großen Liste denkbarer Szenarien werden Szenarienklassen gebildet. In der Sicherheitsanalyse werden dann jeweils repräsentative Szenarien dieser Klassen analysiert. Bei den Szenarien menschlicher Aktivitäten in der Nachbetriebsphase wird insbesondere das ungewollte Anbohren des Endlagers als ein zu untersuchendes Szenario angesehen. Dabei wird unterstellt, daß ein Transport von ausgelaugter Aktivität über das Bohrloch in die Aquifere erfolgen kann. Zur Senkung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines solchen Ereignisses können institutionelle Kontrollen, Marker am Standort oder ein die Bohrungen begleitendes Meßprogramm beitragen.

Im Rahmen des für jeden Standort geforderten "Site Characterisation Plan" ist ein Programm initiiert worden, das sich auf folgende drei Untersuchungen konzentriert:

- Marker am Standort und ihre Veränderung im Laufe der Zeit,
- Ressourcen am Standort und
- Effekte menschlicher Einwirkungen.

Aus dem Bereich der menschlichen Einwirkungen sind von DOE für ein HAW-Endlager Bohrlochszszenarien behandelt worden. Für den Endlagerstandort mit dem geplanten HAW-Endlager in den Yucca Mountains, Nevada, sind weitere Szenarien in der Bearbeitung:

- Explorationsbohrungen,
- Beeinflussung der Grundwassersituation,
- Bergbau und bergbaubedingte Entwässerung des Standortes,
- Oberflächenwasser, z. B. Stauseen, und
- extensive Bewässerung.

Für das Endlagerprojekt zur Aufnahme von Transuranic Waste in einer Salzformation in New Mexico (die WIPP-Site) sind die Szenarien "Anbohren des Endlagers und Freisetzen des Bohrgutes" sowie "Freisetzung von Radioaktivität in einen im Abstrom des Endlagers gelegenen Brunnen, der zur Viehtränke genutzt wird" untersucht worden. Basis dieser Arbeiten ist der EPA-Standard.

## 2.5 Finnland

In den Studien zur Sicherheit von Endlagern in kristallinem Grundgestein wurden Szenarienanalysen in Anlehnung an die IAEA- und NEA-Vorschläge zur Vorgehensweise bei der Analyse der Szenarien durchgeführt. Neben den Szenarien der natürlichen Standortentwicklung wurden folgende Szenarien menschlicher Aktivitäten /4/ behandelt:

- unbeabsichtigtes Eindringen in das Endlager (z. B. Explorationsbohrungen),
- absichtliches Eindringen in das Endlager,
- Fehler in der Standortauswahl, der Auslegung des Endlagers, der Versiegelung,
- klimatische Veränderungen aufgrund menschlicher Aktivitäten und
- Änderung der Grundwassersituation aufgrund menschlicher Aktivitäten.

Für eine weitere Behandlung in Sicherheitsanalysen werden diese Szenarien nach ihren Eintrittswahrscheinlichkeiten und ihren Konsequenzen bewertet. Als maßgebliches Szenario ist daraufhin in den Sicherheitsanalysen für Endlager für leicht- und mittel-



aktive Abfälle in einer Tiefe von 50 m bis 125 m ein Brunnen-szenario zur Trinkwassergewinnung behandelt worden. Da die Trinkwassergewinnung durch direktes Anbohren des Endlagers aufgrund der dann vorherrschenden chemischen Wasserverhältnisse ausgeschlossen werden konnte, sind die Ansatzpunkte der Brunnen im Abstand von 50 m bis 250 m vom Endlager gewählt worden /4/.

Für das geplante Endlager zur Entsorgung abgebrannter Brennelemente werden Sicherheitsstudien für folgende Szenarien menschlicher Aktivitäten durchgeführt:

- Versagen der Versiegelung des Endlagers und
- Brunnenszenario zur Trinkwassergewinnung.

In den finnischen Regelwerken findet sich kein spezielles Kriterium zur Behandlung von Szenarien, die durch menschliche Einwirkungen bedingt sind. Es liegen die generellen Kriterien für die Endlagerung radioaktiver Stoffe ähnlich wie bei der ICRP (vgl. Kap. 2.2) vor:

- der Risikowert für akute gesundheitliche Schäden sollte unter  $10^{-6}/a$  liegen,
- die zu erwartende Individualdosis sollte kleiner als 0,1 mSv/a sein.

## 2.6 Frankreich

Im Sicherheitsstandard RFS I-2 vom 19. Juni 1984 sind die sicherheitstechnischen Grundlagen für oberflächennahe Endlager vorgegeben /8/. Für den Zeitraum der allgemeinen Verfügbarkeit des Standortes, d. h. jenseits des Überwachungszeitraumes von 300 Jahren, werden in Sicherheitsanalysen Szenarien berücksichtigt, die in der RFS I-2 festgehalten sind. Neben dem Verlust der Dichtheit der Abdeckung sind dies folgende Szenarien menschlicher Aktivitäten:

- Straßenbau durch den Standort,
- Wohngebiet auf dem Standort,
- spielende Kinder in Verbindung mit dem Szenario eines Wohngebietes in Standortnähe und
- Brunnenbau in unmittelbarer Nähe des Endlagers.

Für ein Endlager in tiefen geologischen Formationen werden in Sicherheitsanalysen die Szenariengruppe der natürlichen Standortentwicklung und die Szenariengruppe infolge stochastischer Ereignisse untersucht. In beiden Gruppen werden folgende Szenarien aufgrund menschlicher Aktivitäten untersucht:

- Beeinflussung der Grundwassersituation, z. B. Grundwasseraufschluß- oder Gewinnungsbohrungen,
- unmittelbares und mittelbares Eindringen des Menschen,
- Fehler bei technischen Barrieren und
- klimatische Veränderungen aufgrund menschlicher Tätigkeiten.

Für die Nachbetriebsphase beider Typen von Endlagern befinden sich radiologische Kriterien bzw. Risikogrenzwerte in der Diskussion. Diskussionsgrundlage sind derzeit noch die Empfehlungen der ICRP 46 /9/. Die Szenarienanalysen werden deterministisch geführt. Die Bewertung der radiologischen Auswirkungen solcher Szenarien wird risikoorientiert mittels Eintrittswahrscheinlichkeiten vorgenommen.

## 2.7 Großbritannien

Gegenwärtig wird für die Nachbetriebsphase ähnlich wie bei der ICRP (vgl. Kap. 2.2) ein Risikokzept angewendet. Der Grenzwert beträgt  $10^{-6}/a$  für das jährliche Risiko einer repräsentativen Person einer kritischen Bevölkerungsgruppe, einen schweren Strahlenschaden zu erleiden. Methode und Szenarien zur Umsetzung des Risikoansatzes sind nicht in einem Regelwerk spezifiziert.

In ihren Sicherheitsanalysen für ein Endlager für leicht- und mittelaktiven Abfall in tiefen geologischen Formationen betrachtet die NIREX /4/ folgende Szenarien menschlicher Einwirkungen:

- direkte Exposition, z. B. durch Abfälle oder kontaminierte Gesteine,
- Nutzung von Land, das aufgrund menschlicher Aktivitäten kontaminiert wurde,
- Exposition durch Verwendung von Abfall oder kontaminiertem Gestein, z. B. als Baumaterial, und
- Interaktion mit anderen Szenarien des Radionuklidtransportes.

Als das bedeutendste Szenario menschlicher Aktivitäten wird das Anbohren aufgrund von Explorationstätigkeiten ausgewählt /10/. Daher werden Standorte in Gebieten geringer Erwartung natürlicher Ressourcen sowie eine ausreichende Tiefe des Endlagers als risikomindernd für solche Szenarien angesehen /4/. Der Zeitraum für eine institutionelle Kontrolle des Standortes wird mit 100 bis 300 Jahren angesetzt.

## 2.8 Kanada

Im Regelwerk des kanadischen Atomic Energy Control Board wird für die Langzeitsicherheit ähnlich wie bei der ICRP (vgl. Kap. 2.2) eine risikoorientierte Vorgehensweise festgelegt. Es wird der Nachweis gefordert, daß das prognostizierte radiologische Individualrisiko, hervorgerufen durch das Endlager,  $10^{-6}$  pro Jahr nicht überschreitet. Diese Forderung gilt für die Summe aller signifikanten Szenarien. Zu diesen zählen auch die Szenarien menschlicher Einwirkungen.

Als zu betrachtende Szenarien menschlicher Einwirkungen wird unbeabsichtigtes Eindringen in ein Endlager verbunden mit der

Zerstörung technischer Barrieren angesehen. Als Szenarien werden vornehmlich die Bohrlochsznarien (z. B. zur Wassergewinnung) diskutiert.

## 2.9 Niederlande

Die Niederlande verfügen nicht über ein spezifisches Regelwerk für die Endlagerung radioaktiver Stoffe. Derzeit ist ein Kriterienkatalog in der Bearbeitung, der die Anforderungen an die Entsorgung aller Arten von Abfällen umfaßt /11/.

## 2.10 Schweden

Das für die radiologischen Grenzwerte zuständige Nationale Institut für Strahlenschutz (SKI) hat für das Endlager für leicht- und mittelaktiven Abfall (SFR-1), welches sich ca. 50 m tief im Felsgestein unter dem Baltischen Meer befindet, allgemeine Grenzwerte effektiver Strahlendosen vorgegeben. Diese sind 0,1 mSv/a im ungestörten Nachbetrieb und 1 mSv/a für ungünstige Bedingungen. Darüber hinaus soll das Endlager die natürliche Strahlenexposition in der Umgebung des Endlagers nicht wesentlich verändern. Dieses fundamentale Prinzip gilt auch für die oberflächennahe Endlagerung von niedrig aktiven Abfällen an KKW-Standorten. Kriterien für die Entsorgung abgebrannter Brennelemente befinden sich in der Entwicklung. Eine besondere Regelung bzgl. menschlicher Einwirkungen gibt es nicht.

Die Behandlung der Szenariengruppe der menschlichen Aktivitäten ist auch in Schweden noch in der Diskussion. Von den beiden Szenarien - beabsichtigtes oder unbeabsichtigtes Eindringen in das Endlager - wird das unbeabsichtigte Eindringen als das wahrscheinlichere in den Sicherheitsuntersuchungen sowohl des SFR /12/ als auch in den Studien KBS-3 /13/ behandelt. Es wird untersucht, zu welchen Auswirkungen das Niederbringen von Boh-

rungen zur Trinkwassergewinnung in der Umgebung und im Bereich des Endlagers führt.

Eine abschließende Beurteilung dieser Szenariengruppe wird jedoch nicht vorgenommen; es wird vielmehr auf die nationale und internationale Diskussion /4/ und den Diskussionsbedarf zur Entscheidungsfindung hingewiesen /14/.

## 2.11 Schweiz

Kriterien für die sichere Endlagerung radioaktiver Stoffe werden in der Richtlinie R-21 der HSK /15/ formuliert. Demnach dürfen Radionuklide, die als Folge realistischerweise anzunehmender Vorgänge und Ereignisse aus einem verschlossenen Endlager in die Biosphäre gelangen, zu keiner Zeit zu Individualdosen führen, die 0,1 mSv/a überschreiten. Außerdem soll das aus einem verschlossenen Endlager infolge unwahrscheinlicher Vorgänge und Ereignisse zu erwartende radiologische Todesfallrisiko für eine Einzelperson zu keiner Zeit  $10^{-6}/a$  übersteigen. Nach dem Verschuß des Endlagers muß es möglich sein, auf Sicherheits- und Überwachungsmaßnahmen zu verzichten. Aus dieser Richtlinie läßt sich ableiten, daß zur Dosisberechnung konservative Annahmen gemacht werden und die Modell- und Datenunsicherheiten in den Sicherheitsanalysen Berücksichtigung finden sollen.

Die Regelwerke der Schweiz geben keinen direkten Hinweis auf die Behandlung menschlicher Einwirkungen. Allerdings soll durch Maßnahmen, die geeignet sind, die Informationen über das Endlager zu erhalten, die Wahrscheinlichkeit für einen frühen unbeabsichtigten Eingriff in das Endlagersystem vermindert werden.

Im Rahmen von Sicherheitsanalysen sowohl der NAGRA /16/ als auch der HSK für Modellendlager (HAW und LAW) an verschiedenen potentiellen Standorten wurden menschliche Aktivitäten folgen-

der Klassen behandelt /4/:

- Aktivitäten mit indirektem Einfluß auf das Verhalten des Endlagers,
- Aktivitäten, die zu einem unmittelbaren Transport von Radioaktivität zum Menschen führen, und
- direktes Eindringen in das Endlager.

Dabei sind die Mengen freigesetzter Aktivität und die radiologischen Belastungen in Form von Individualdosen der sogenannten kritischen Gruppe einer Population und die Strahlenexposition der Arbeiter vor Ort berechnet worden. Im Bericht der NAGRA /4/ sind z.B. Analysen folgender Szenarien enthalten:

- Bohrlöcher zur Trinkwassergewinnung im Wirtsgestein,
- Bohrloch in das Endlager mit Aktivitätsfreisetzung oder Freisetzung von aktiviertem Material,
- Bohrloch zur Gewinnung geothermischer Energie,
- Tunnel im Abstrom des Endlagers und
- Bau eines Stausees im Standortbereich.

## 2.12 Internationaler Stand

International herrscht Konsens darüber, daß

- das menschliche Eindringen beim Nachweis der Langzeitsicherheit eines Endlagers berücksichtigt werden muß,
- für eine relativ kurze Zeit (100 bis 500 Jahre) von administrativen Kontrollen Kredit genommen werden kann,
- das bewußte Eindringen in das Endlager in die Verantwortung der Eindringlinge gestellt wird und in Sicherheitsanalysen nicht berücksichtigt zu werden braucht,
- bei der Standortwahl und der Auslegung die Möglichkeiten ausgeschöpft werden, die ein unbeabsichtigtes Eindringen in das Endlager minimieren,
- für die Durchführung von Sicherheitsanalysen Referenzkonditionen für typische Szenarien festgelegt werden sollten.

Es kann festgestellt werden, daß international das Vorgehen bei der Behandlung menschlicher Aktivitäten am Endlagerstandort nicht einheitlich ist. Dies liegt u. a. an den unterschiedlichen Standortbedingungen und Wirtsformationen, die einen wesentlichen Einfluß auf die Szenarien- und Konsequenzenanalyse ausüben. Weiterhin wird derzeit in den einzelnen Ländern darüber diskutiert, welche Randbedingungen bei der Szenarienanalyse zu unterstellen sind. Gleiches gilt für die Einordnung und Bewertung der Konsequenzen aus diesen Szenarien.

Im internationalen Rahmen befassen sich Arbeitsgruppen, wie z. B. die Working Group on the Assessment of Future Human Actions at Radioactive Waste Disposal Sites der NEA, derzeit mit diesen Fragestellungen.

### 3 Bewertung des Standortes Konrad

Im Standortbereich des geplanten Endlagers für radioaktive Abfälle in der ehemaligen Eisenerzgrube Konrad sind nach heutiger Kenntnis in der Zukunft die folgenden bergbaulich-rohstoffwirtschaftlichen Tätigkeiten denkbar:

- Aufsuchung, Untersuchung und Gewinnung
  - von Eisenerz,
  - von Kohlenwasserstoffen (Erdöl, Erdgas, Kondensat),
  - von Salzen (Steinsalz, Kalisalze) und von Sole sowie
  - von Steinen, Erden und Industriemineralen,
- Aufsuchung und Nutzung von geothermischer Energie,
- Bau von Kavernen oder Bergwerken für Speicher- und Deponiezwecke.

Von diesen Tätigkeiten könnten nach heutiger Einschätzung hauptsächlich die Prospektion, Exploration und Gewinnung von Eisenerz und von Kohlenwasserstoffen sowie die Nutzung von geothermischer Energie zu unbeabsichtigten menschlichen Einwirkun-

gen auf das Endlager in der Nachbetriebsphase führen. Ursache hierfür ist das im Rahmen solcher Aktivitäten erforderliche Niederbringen von Tiefbohrungen bzw. das Abteufen von Schächten, die das Endlager berühren und Radioaktivität unbeabsichtigt freisetzen könnten.

Die Aufsuchung und Nutzung von Salzen und von Sole dürften sich nach heutigem Wissen auf die in einiger Entfernung vom geplanten Endlager gelegenen Salzstöcke konzentrieren und somit das Endlager nicht tangieren. Jedoch ist zu bedenken, daß im engeren Standortbereich ab 150 m bis 200 m Teufe unter Gelände versalzenes Grundwasser auftritt, ferner daß die Formationswässer im Einlagerungsmedium Korallenoolith etwa 200 g/l gelöste Stoffe enthalten und daß im tieferen Untergrund des Einlagerungsmediums in der Trias und im Zechstein annähernd flach gelagerte Steinsalzschiefer vorkommen. Die Aufsuchung und die Nutzung dieser Rohstoffe, z. B. durch Tiefbohrungen, könnten das Endlager berühren.

An Steinen, Erden und Industriemineralen kommen im Standortbereich lokal kieshaltige Sande, Bausande, Kalk- und Kalkmergelsteine sowie Tonsteine vor, die im Tagebau gewonnen werden oder zukünftig abgebaut werden könnten. Bei dieser Tätigkeit ist nach heutiger Einschätzung nicht mit einem Eindringen in den tieferen Untergrund und somit nicht mit einer Berührung des geplanten Endlagers zu rechnen.

Kavernen oder Bergwerke für Speicher- und Deponiezwecke werden im norddeutschen Raum im allgemeinen in Salzstöcken angelegt. Bei einer Nutzung von dem Endlager benachbarten Salzstöcken würde das Endlager selbst nicht tangiert. Sollte zukünftig im Standortbereich eine entsprechende Aktivität in nicht salinaren Gesteinen erfolgen, so könnten hierfür notwendige Untersuchungsbohrungen das Endlager berühren und ungewollt Radioaktivität freisetzen.



Dies gilt auch für einen zukünftigen Eisenerz-Tiefbau, wobei vor dem Bau von Förderschächten Untersuchungs- und Vorbohrungen abzuteufen wären.

Somit zeichnet sich ab, daß unbeabsichtigte menschliche Einwirkungen auf das geplante Endlager Konrad in der Nachbetriebsphase ganz überwiegend durch Tiefbohrungen bzw. Schächte im Zusammenhang mit bergbaulich-rohstoffwirtschaftlichen Tätigkeiten zu erwarten sind. Auch reine geowissenschaftliche Forschungsbohrungen könnten das Endlager in der Zukunft berühren.

Besondere Bedeutung kommt Tiefbohrungen auf Kohlenwasserstoffe und auf Eisenerz zu. Deshalb sind im folgenden dazu einige Details aufgeführt.

Im Standortbereich bzw. in benachbarten, teils betriebenen, teils stillgelegten Erdölfeldern sind potentielle Speichergesteine für Kohlenwasserstoffe in der Unterkreide, im Jura und in der Trias bekannt. Im Präzechstein werden Speichergesteine im Standortbereich sowie seiner engeren bis weiteren Umgebung vermutet. Sollten zukünftig z. B. mittels Reflexionsseismik Fangstrukturen entdeckt werden, in denen bislang unbekannte Kohlenwasserstoff-Lagerstätten auftreten könnten, so sind entsprechende Tiefbohrungen zu deren Erschließung zu erwarten. Bohrpläne hierfür sind derzeit nicht bekannt, mittel- bis langfristig sind aber nach seismischen Voruntersuchungen Bohrungen auf Speichergesteine im Jura, in der Trias und im Präzechstein zumindest im weiteren Standortbereich nicht auszuschließen. Dies ergibt sich schon aus der besonderen volkswirtschaftlichen Bedeutung der Energierohstoffe. Die Realisierung solcher Vorhaben hängt ganz überwiegend vom jeweiligen Kosten- und Preisniveau ab, das sich langfristig zu Gunsten solcher Projekte im Inland entwickeln könnte.

Die in der Grube Konrad aufgeschlossenen Eisenerze gehören dem Korallenoolith (Oxfordium, Oberjura) an und liegen am Südende

des sogenannten Gifhorner Troges. Bei diesem handelt es sich um ein Sedimentationsgebiet mesozoischer Schichten, das sich von Salzgitter-Hallendorf im Süden über etwa 50 bis 60 km Länge in nördlicher bis nordöstlicher Richtung über Gifhorn und Platen-dorf bis in den Raum Vorhop-Knesebeck erstreckt. Es setzt sich aus einer Reihe von sogenannten Randsenken der Zechstein-Salzstöcke Broistedt, Vechelde, Wendeburg-Rolfsbüttel, Gifhorn und Vorhop zusammen. Die Korallenoolith-Eisenerze finden sich vor allem in den östlichen Randsenken dieser Salzstöcke in einem in westöstlicher Richtung knapp 3 km bis über 5 km breiten Gebietsstreifen; lediglich am Salzstock Vorhop ist die westliche Randsenke besonders stark eisenerzführend.

Die Korallenoolith-Eisenerze mit Eisengehalten um 30 % und mit Goethit (Nadeleisenerz) als überwiegendem Eisenmineral gehören aus bergwirtschaftlicher Sicht zu den eisenarmen Brauneisenerzen. Im Vergleich zu hämatitischen und magnetitischen Eisenerzen kann ihr Eisengehalt durch Aufbereitung nicht den derzeitigen Qualitätsanforderungen der Hochofenwerke entsprechend angereichert werden. Gegenüber früheren Jahrzehnten werden oolithische Brauneisenerze deshalb weltweit derzeit nur in geringem Umfang zum Erschmelzen von Roheisen genutzt.

In der Grube Konrad hat man rund 47 Mio. t Roherz anstehend aufgeschlossen, von denen von 1960 bis 1985 rund 7 Mio. t abgebaut worden sind. Bei der Durchführung des geplanten Einlagerungsvorhabens kann im Grubenfeld Konrad nur noch das beim Auf-fahren von Einlagerungskammern und anderen Grubenbauen anfal-lende Roherz unter Umständen einer Nutzung zugeführt werden. Die übrigen Erzvorräte im Grubenfeld müssen in den Festen in der Grube verbleiben. Hierbei handelt es sich um einen relativ geringen Teil der insgesamt sehr großen Roherzvorräte, die im Gifhorner Trog einschließlich der Grube Konrad anstehen.

Die Eisenerzvorräte im Gifhorner Trog werden nach heutiger Kenntnis mit rund 1,4 Mrd. t Roherz angegeben, die etwa 350 bis

420 Mio. t Eisen enthalten (Anmerkung: Derzeit werden weltweit jährlich etwa 500 bis 550 Mio. t Roheisen aus Eisenerzen erschmolzen).

Mit Ausnahme der ausreichend erkundeten Erzvorräte in der Grube Konrad selbst sind alle Roherzvorräte im Gifhorner Trog wahrscheinliche und mögliche geologische Vorräte. Vor Beginn einer Erzgewinnung in den Bereichen nördlich der Grube Konrad wären jeweils noch Untersuchungsarbeiten z. B. zur Ermittlung und Sicherung der Erzvorräte, der Lagerungsverhältnisse, der Erzmächtigkeit und -beschaffenheit im Detail erforderlich. Diese Erzvorräte gelten beim derzeitigen Erkundungsstand als bedeutende Zukunftsreserve für die Bundesrepublik Deutschland. Sie wurden bei planerischen Maßnahmen durch Eintragung der im tieferen Untergrund mit Eisenerz belagerten Gebiete in die Karten der Raumordnungsprogramme und Flächennutzungsplanungen der Kommunen übernommen.

Die Welt-Eisenerzvorräte umfassen nach amtlichen US-amerikanischen Angaben von Anfang 1992 rund 229 Mrd. t Roherz mit einem Eiseninhalt von 101 Mrd. t. Hierbei handelt es sich um die sogenannte Reserve Base, die sichere (measured) und wahrscheinliche (indicated), wirtschaftlich gewinnbare, marginal-ökonomische Vorräte und Teile von subökonomischen Vorräten der amtlichen US-amerikanischen Vorratsklassifikation beinhaltet. Davon gelten 151 Mrd. t Roherz mit 64,6 Mrd. t Eiseninhalt als derzeit wirtschaftlich gewinnbar (sogenannte Reserves der genannten Vorratsklassifikation).

Die Welt-Eisenerzförderung erreichte in letzter Zeit jährlich über 900 Mio. t Roherz. Hauptförderländer waren die GUS, Brasilien, Australien, China, Indien, die USA, Kanada, Südafrika, Venezuela, Schweden, Mauretanien und Frankreich. Abgebaut wurden vorwiegend hämatitische und magnetitische Reicherze bzw. entsprechende eisenarme Roherze, aus denen mittels verschiedener Aufbereitungsverfahren hochwertige Eisenerzkonzentrate er-

zeugt worden sind. Dabei gibt es einen Trend zu immer größeren Tagebaubetrieben mit sehr hoher Produktivität.

Bei diesen rohstoffwirtschaftlichen Gegebenheiten ist es völlig ungewiß, ob, wann und unter welchen Randbedingungen die Eisenerzvorkommen im Gifhorner Trog wieder wirtschaftlich interessant und genutzt werden könnten. Einem zukünftigen Eisenerzbergbau müßten dort, wie oben bereits ausgeführt wurde, Untersuchungsarbeiten vorausgehen. Diese würden nach heutiger Einschätzung stratigraphische und paläogeographisch-fazielle Studien, reflexionsseismische Messungen sowie Tiefbohrungen und Versuchsschächte umfassen. Dabei kann davon ausgegangen werden, daß vor dem Abteufen von Schächten eine Anzahl von Tiefbohrungen niedergebracht wird, weil das nicht zu Tage ausgehende Erzvorkommen ohne Tiefbohrergebnisse bergbaulich-montangeologisch nicht hinreichend erfaß- und einschätzbar ist.

Zusammenfassend ergibt sich, daß das Niederbringen von Tiefbohrungen bzw. Schächten im Zusammenhang mit bergbaulich-rohstoffwirtschaftlichen Tätigkeiten zu unbeabsichtigter menschlicher Einwirkung auf das geplante Endlager in der Nachbetriebsphase und somit zu ungewollter Freisetzung von Radioaktivität führen könnte, wenn das Wissen über das Endlager zu diesem Zeitpunkt in der Zukunft verloren gegangen ist. Andererseits erfordern das Niederbringen von Tiefbohrungen und Schächten sowie die Gewinnung und Verarbeitung der oben betrachteten Rohstoffe relativ hohe technologische Kenntnisse und Fähigkeiten. Letztere dürften das Wissen über Radioaktivität und deren Auswirkungen mit großer Wahrscheinlichkeit einschließen, so daß entsprechende Maßnahmen ergriffen und nichtakzeptable Folgen einer Freisetzung von radioaktiven Stoffen vermieden werden könnten.

## 4 Szenarien für das Endlager Konrad

### 4.1 Szenarienauswahl

Das ehemalige Eisenerzbergwerk liegt in großer Tiefe bei ca. 1000 m und besitzt infolge einer Überdeckung durch ca. 400 bis 700 m mächtige tonige Schichten der Unterkreide eine gute Abdichtung gegen oberflächennahes Grundwasser. Unterhalb von etwa 100 m Tiefe enthält das Grundwasser zunehmende Mengen gelöster geogener Stoffe. Das hydrogeologische System wird nach unten durch Tonsteine und Steinsalz des Mittleren Muschelkalk und seitlich über weite Strecken durch Salzstöcke begrenzt. So enthalten die Schichten in einer Tiefe des späteren Endlagers hochkonzentrierte Salzwässer, die nicht zur Gewinnung von Trink- oder Brauchwasser herangezogen werden können.

Die internationalen Szenarienanalysen (vgl. Kap. 2) gelten auch für die oberflächennahe Ablagerung von radioaktiven Abfällen. Wegen der besonderen geologischen Situation des geplanten Endlagers Konrad sind in der Bundesrepublik Deutschland von den international betrachteten Szenarien menschlichen Einwirkens hier nur zu unterstellen:

- Einrichtung eines Bergwerkes,
- Gewinnung geothermischer Energie und
- eine eingeschränkte Nutzung als Speichergestein (Kavernenbau).

Eine Reihe anderer allgemein zu unterstellender, international betrachteter menschlicher Einwirkungen sind dagegen wegen der Tiefe des Einlagerungshorizonts nicht zu recherchieren, z. B.:

- Trink- und Brauchwassergewinnung, Stauseen,
- Besiedlung und Straßenbau,
- direkte landwirtschaftliche Nutzung und
- Tunnelbau im Abstrom des Endlagers.

Eine Nutzung des Gebietes, in dem das geplante Endlager Konrad liegt, würde immer vorlaufende Erkundungsbohrungen erfordern. Für das hier zu betrachtende Endlager Konrad reduzieren sich die zu unterstellenden Szenarien späteren menschlichen Einwirkens somit auf das ungewollte Anbohren. Im folgenden soll jedoch nicht die Wahrscheinlichkeit des Ereignisses untersucht werden und dessen mögliche Minimierung, z. B. durch rasche Detektion von geförderter Radioaktivität, sondern der Ablauf eines solchen Unternehmens und dessen Folgen.

#### 4.2 Niederbringen einer Aufschlußbohrung

Im zu betrachtenden Modellgebiet für das Endlager sind in den Jahren 1933 bis 1963 über 100 Tiefbohrungen mit unterschiedlicher Zielsetzung niedergebracht worden. So liegen gerade für dieses Modellgebiet umfangreiche Datenmengen vor /17/. Diese Bohrungen lassen sich hinsichtlich Zweck und Ziel zunächst grob in vier Kategorien gliedern:

- Prospektion auf Eisenerz,
- Prospektion auf Erdöl oder Erdgas,
- Prospektion auf Kali- oder Natriumsalze und
- Untersuchungsbohrungen zu wissenschaftlichen Zwecken.

Diese Gliederung steht auch für unterschiedlich eingesetzte Bohrtechniken, die wie folgt durch wenige Aussagen charakterisiert werden können:

- Antrieb: mechanisch über Gestänge (Rollenmeißel) oder Spülung (Turbine),
- Spülung: Wasser, Tonsuspension, Ölbrei,
- Bohrgut: Bohrkern, Bohrklein,
- Bohrloch: Durchmesser ca. 10 bis 30 cm.

Aufschlußbohrungen auf Eisenerz werden in der Regel mit dem Rollenmeißel vorgenommen; sie werden über Spülung stabilisiert. Gelegentlich werden sogenannte Richtkerne gezogen, anhand deren der betreuende Geologe die erreichte stratigraphische Tiefe beurteilen kann. Bei Stabilitätsproblemen und bei Exploration auf Öl und Gas müssen Verrohrungen eingebaut werden, die sowohl das sogenannte Auskolken (Nachfallen lockeren Gesteins ins Bohrloch) als auch Wasserzuflüsse aus den oft vorhandenen, Sand und Kies führenden Schichten unterbinden müssen.

Aufgrund der geologischen Situation im Gebiet des Endlagers Konrad ist in erster Linie die Prospektion auf Kohlenwasserstoffe oder auf Eisenerz als menschliche Einwirkungsmöglichkeit zu betrachten.

Als ungünstigstes aber auch wahrscheinlichstes Szenarium muß die Prospektion auf Erz angesehen werden. Zur Wahrscheinlichkeit einer Tiefbohrung und Erkennbarkeit des Endlagers hat das BfS Untersuchungen angestellt /2/. Wir gehen für unsere nachfolgende Abschätzung möglicher radiologischer Auswirkungen von einer Tiefbohrung durch eine Einlagerungskammer aus.

Da die Lagerkammern im Endlager Konrad Stapelhöhen von maximal 6 m zulassen, kann bei einem unterstellten größten Durchmesser der Bohrung von 30 cm bei einer senkrechten Bohrung aktives Material von bis zu ca.  $0,4 \text{ m}^3$  gefördert werden. Im Falle des Nachfallens lockeren Zementsteins (Auskolkung) und bei Auftreten empordrückenden Tiefenwassers unterstellen wir, daß maximal  $10 \text{ m}^3$  weiteres Bohrgut und gemäß EPA-Richtlinien ca.  $200 \text{ m}^3$  kontaminiertes Tiefenwasser zusätzlich anfallen /2/.

## 5 Strahlenexpositionen

### 5.1 Bestimmung des Aktivitätsinventars

Für die Berechnung der Strahlenexposition des Bohrpersonals und der Bevölkerung beim Durchbohren des Endlagers gehen wir davon aus, daß frühestens 300 Jahre nach Beendigung der Betriebsphase die Kenntnis über die Endlagerstätte verloren gegangen sein kann. Dieser Ansatz entspricht dem internationalen Vorgehen. Deshalb wird zunächst das Nuklidinventar des gesamten Lagers zu diesem Zeitpunkt ermittelt. Ausgehend von den Anfangsinventaren nach den Ermittlungen des BfS /18/ unter Beachtung der Aktivitätsbegrenzungen im Plan /19/ und der Halbwertszeiten der Radionuklide errechnet sich das in der Tabelle 5.1-1 angegebene Nuklidinventar für das gemäß Kap. 4.2 dieser Stellungnahme geförderte Bohrgut. Hierbei liegt ein Gesamtbehältervolumen der Abfallgebinde von  $650.000 \text{ m}^3$  zugrunde.

Um eine realistischere obere Abschätzung der Strahlenexposition des Bohrpersonals zu erhalten, wird ein Durchbohren von Containern mit zementierten Abfällen unterstellt, die soviel Cs 137 enthalten, daß gerade die Oberflächendosisleistungsgrenzwerte der Transportbestimmungen eingehalten werden. Dies sind bei  $2 \text{ mSv/h}$  ca.  $2 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$  im Container Typ V und  $9 \cdot 10^{12} \text{ Bq}$  im Gußbehälter, was 300 Jahre später ca.  $2 \cdot 10^7$  bzw.  $3 \cdot 10^9 \text{ Bq}$  in  $10 \text{ m}^3$  gefördertem Bohrgut ergibt /20/. Diese Betrachtungen zeigen, daß die in Tabelle 5.1-1 wiedergegebenen Werte bereits konservative Abschätzungen darstellen.

Wie in Kap. 4.2 dieser Stellungnahme beschrieben, kann eine Bohrung auf unter Druck stehendes Tiefenwasser stoßen. Das unter diesen Randbedingungen mit stark salzhaltigem Wasser geförderte Aktivitätsinventar ist in Tabelle 5.1-2 wiedergegeben. Die Werte basieren auf den maximal erreichbaren Aktivitätskonzentrationen in der Nachbetriebsphase beim Durchströmen des Endlagers bei einer Durchflußgeschwindigkeit von  $735 \text{ m}^3/\text{a}$  /21/. Bei anderen Durchflußgeschwindigkeiten wurden etwas niedrigere



Konzentrationswerte ermittelt. Infolge unterschiedlichen Löslichkeits- und Sorptionsverhaltens bei Berücksichtigung der jeweiligen Halbwertszeit ist die maximale Aktivitätskonzentration der einzelnen Nuklide relativ schnell zu Beginn der Nachbetriebsphase, wie z. B. bei Co 60 und Cs 137, innerhalb von 30 Jahren oder erst nach  $10^6$  Jahren wie beim Pu 244 erreicht.

Da in der vorliegenden Studie nur die Aktivitätskonzentration des Tiefenwassers ab einem festgelegten Zeitpunkt, nämlich nach 300 Jahren, in die Betrachtung eingeht, sind in der angegebenen Tabelle Änderungen gegenüber der zitierten Unterlage notwendig gewesen. Diese Änderungen berücksichtigen die Halbwertszeiten kurzlebiger Nuklide. Wenn diese kürzer als 100 Jahre sind, reduzieren sich die Aktivitätskonzentrationswerte entsprechend. Dieser Vorgehensweise ist zu entnehmen, daß es sich bei den Werten der Tabelle 5.1-2 um eine bewußt konservative Übertragung der von BfS /21/ angegebenen Werte handelt.

## 5.2 Strahlenexposition des Bohrpersonals

Für die Ermittlung der äußeren Strahlenexposition des Bohrpersonals führen wir zwei Berechnungen der Ortsdosisleistung mit den nachfolgend beschriebenen Randbedingungen durch.

Der Bohrkern wird mit einer aktiven Länge von sechs Metern, einem Durchmesser von dreißig Zentimetern und einer Dichte von  $1,0 \text{ g/cm}^3$  angenommen. Das Volumen beträgt somit ca.  $0,4 \text{ m}^3$ . Die relativ geringe Dichte wird aus Gründen einer geringen Selbstabschirmung des Bohrgutes gewählt. Dies führt zu einer Überschätzung der Dosisleistung. Der Aufpunkt für diese Berechnung wird auf der halben Höhe des betrachteten Zylinders in 0,5 m Abstand von seiner Oberfläche gewählt.

Mit diesen Rechenannahmen wird die potentielle Strahlenexposition des Personals bei dem unmittelbaren Bohrvorgang sowie - konservativ abdeckend - auch bei etwaigen Laborauswertungen ermittelt.

In einer weiteren Rechnung wird das gesamte geförderte Bohrgut von  $10 \text{ m}^3$  auf einer Fläche von  $10 \text{ m} \cdot 10 \text{ m}$  als gleichmäßig verteilt angenommen. Hier liegt der Aufpunkt in der Mitte dieser Fläche in  $1 \text{ m}$  Höhe. Diese Rechenannahme simuliert einen kontaminierten Bohrplatz.

Das Aktivitätsinventar für alle betrachteten Fälle entspricht in der Zusammensetzung den angegebenen Nukliden der Tabelle 5.1-1. Es wird auf das jeweilige Volumen des betrachteten Bohrgutes bezogen. Nur die Nuklide Am 241 und Cs 137 (Ba 137 m) haben eine nennenswerte Gamma-Emission /22/. In Tabelle 5.2-1 sind die Eingangsgrößen dieser Nuklide für die Berechnung der Ortsdosisleistung zusammengestellt.

Die Berechnung wird in beiden Fällen mit dem Programm PELSHIE /23/ durchgeführt. Es ermittelt die Dosisleistungen nach dem Verfahren der Punktkernmethode. Die Strahlenquellen werden als Volumenquellen idealisiert.

Die errechnete Dosisleistung beträgt in  $0,5 \text{ m}$  Abstand vom Bohrkern (Fall 1)  $12 \mu\text{Sv/h}$ . Dies entspricht etwa dem nach Transportvorschriften zulässigen Wert der Dosisleistung in  $2 \text{ m}$  Entfernung von Abfallcontainern. In  $1 \text{ m}$  Höhe über dem am Boden verteilten Bohrgut (Fall 2) beträgt die Dosisleistung  $38 \mu\text{Sv/h}$ .

Bei einer Arbeitszeit von  $2000$  Stunden pro Jahr und bei ständigem Aufenthalt an den beschriebenen Aufpunkten würden sich unter den genannten fiktiven Randbedingungen Dosisjahreswerte von höchstens  $24 \text{ mSv}$  im Fall 1 und höchstens  $76 \text{ mSv}$  im Fall 2 ergeben. Die tatsächlichen Aufenthaltszeiten im ungeschirmten Strahlenfeld wären sicherlich niedriger.

### 5.3 Strahlenexposition der Bevölkerung

Bei einer Tiefbohrung bis etwa 1000 m mit einem Bohrlochdurchmesser von 0,3 m fallen etwa 100 m<sup>3</sup> Bohrgut in Form von Bohrschlamm und Bohrkernen an. Das durch Spülflüssigkeiten verunreinigte Bohrgut wird üblicherweise auf eine geeignete Deponie gebracht und später abgedeckt. Eine unkontrollierte Verteilung auf landwirtschaftliche oder sonstige Nutzflächen wäre nach heutigen Umweltstandards nicht zulässig. Wir gehen davon aus, daß dies auch zum Zeitpunkt der unterstellten Tiefbohrung der Fall sein wird. Eine Strahlenexposition von nicht an der Bohrung beteiligten Personen könnte beim Betrieb der Deponie auftreten, auf der das Bohrgut abgelagert wird. Mögliche Dosiswerte für Betriebspersonal der Deponie werden jedoch weit geringer sein als die in Kap. 5.2 genannten Werte für das Bohrpersonal, da wesentlich kürzere Aufenthaltszeiten in der Nähe des kontaminierten Bohrgutes, eine Durchmischung mit nicht kontaminiertem Bohrgut und außerdem eine Abschirmung durch weitere deponierte Abfälle anzunehmen sind.

Die bei der Bohrung verwendeten Spülflüssigkeiten werden aus wirtschaftlichen und ökologischen Gründen in der Regel im Kreislauf gefahren. Nach Abschluß der Bohrung werden die Spülflüssigkeiten zusammen mit dem Bohrklein eingedickt und auf eine geeignete Deponie gebracht. Radioaktive Stoffe, die beim unterstellten Anbohren des Endlagers in die Spülflüssigkeiten gelangen, würden beim Eindicken praktisch vollständig in den Rückständen verbleiben. Hinsichtlich einer möglichen Strahlenexposition von Personen der Bevölkerung gilt das gleiche wie für die Deponierung des Bohrgutes. Eine unkontrollierte Einleitung der verunreinigten Spülflüssigkeiten in Gewässer wäre nach heutigen Umweltstandards nicht zulässig.

Mit radioaktiven Stoffen kontaminierte Tiefenwässer, die beim Anbohren des Endlagers zusätzlich anfallen können, müssen wie Spülflüssigkeiten behandelt werden, da sie einerseits nicht ge-

trennt von Spülflüssigkeiten zu Tage gefördert werden und andererseits einen sehr hohen Salzgehalt von mehr als 150 g/l aufweisen würden. Solche Tiefenwässer müßten etwa um den Faktor 1000 verdünnt werden, damit sie bezüglich des Salzgehaltes Trinkwasserqualität hätten. Wir halten daher eine Einleitung dieser Tiefenwässer in ein Oberflächengewässer und eine damit möglicherweise verbundene Strahlenexposition von nicht an der Bohrung beteiligten Personen für äußerst unwahrscheinlich.

## 6 Kontamination der Erzlagerstätte

Während der Betriebsphase des Endlagers tritt Wasser über Tropf- und Sickerstellen und durch das Anfahren wasserführender Klüfte bei der Hohlraumauffahrung in die Grube ein. Die mittlere Zuflußrate der Wässer beträgt etwa 50 l/min /19/. In der Nachbetriebsphase findet kein Wasseraustrag aus der Grube statt. Der Druckabsenkungstrichter des tiefen Grundwassers, der sich durch die Entwässerung des Oxford in der direkten Umgebung des Grubengebäudes gebildet hat, wird sich dann langsam wieder ausgleichen. Modellrechnungen zeigen, daß dieser Vorgang mehrere hundert Jahre dauern wird, ehe die natürliche Wasserbewegung wieder einsetzt. Erst dann kann es entlang der möglichen Ausbreitungswege aus dem Endlager zu einer relevanten Kontamination des Erzlagers kommen.

Das BfS hat in einer Studie zur Radionuklidkonzentration im Oxford /24/ die mögliche Radionuklidkonzentration im Oxfordgestein zeitabhängig ermittelt. Untersucht wurde der Ausbreitungsweg (Oxfordszenario), der nach derzeitigen Erkenntnissen zu maximalen Radionuklidkonzentrationen im nutzbaren Grundwasserleiter führt. Im Hinblick auf diese Nuklidkonzentration im Grundwasser wurden von BfS die  $K_D$ -Werte so festgelegt, daß sie die Sorptionseigenschaften des Gesteins eher unterschätzen. Parametervariationen zum Einfluß der  $K_D$ -Werte zeigen, daß eine

Erhöhung der  $K_D$ -Werte nur zu einer deutlich geringeren Erhöhung der Kontamination des Oxfordgesteins im Nahbereich des Endlagers führt. Eine Heraufsetzung der  $K_D$ -Werte um den Faktor 2,5 erhöht z. B. die Kontamination des Erzes um weniger als 50 % /28/.  $K_D$ -Werte von über 100 ml/g führen zu so kleinen Wandergeschwindigkeiten der Nuklide, daß sie nach  $10^6$  Jahren in 1000 m Entfernung noch nicht auftreten /28/. Bei Berücksichtigung der vom NLFB /29/ eingeschätzten Bandbreite nuklidspezifischer  $K_D$ -Werte können demnach die BfS-Rechnungen zur Bewertung der Kontamination des Erzes herangezogen werden.

Den Ausbreitungsrechnungen für die vom BfS betrachteten Radionuklide /24/ liegen Aktivitätsinventare für das Endlager zugrunde, die den Angaben im Plan /19/ entsprechen. Es wurden zeitabhängig Radionuklidkonzentrationen im Gestein ab 3 km Entfernung vom Endlager ermittelt. Die Maximalwerte sind in Tabelle 6-1 zusammengestellt. Zum Durchlaufen der ersten 3 km vom Grubengebäude benötigt das Tiefenwasser 25 000 Jahre.

Die Ausbreitungsrechnungen des Antragstellers mit dem Programm SWIFT wurden von uns überprüft /25/. Die vom Gutachter erzielten Ergebnisse für die Aktivitätskonzentrationen im Grundwasser stimmen mit denen des BfS überein. Demnach gehen wir davon aus, daß die maximale Kontamination des Gesteins aus den Transportrechnungen mit SWIFT von BfS korrekt ermittelt wurde.

Aus Tabelle 6-1 geht hervor, daß die maximalen Kontaminationen des Gesteins bei ca.  $10^4$  Bq/m<sup>3</sup> liegen könnten. Dabei ist zu beachten, daß die angegebenen Maximalwerte für die einzelnen Nuklide nicht gleichzeitig auftreten. Andererseits sind einige Tochternuklide aus den Zerfallsreihen nicht aufgeführt. Wenn trotzdem die angegebenen nuklidspezifischen Konzentrationen summiert werden, ergibt sich bei einer Dichte des Erzgesteins von 2500 kg/m<sup>3</sup> eine maximale Kontamination von 0,004 Bq/g Erz.

In Tabelle 6-2 sind Gehalte der natürlichen Radioaktivität des Erzes aufgeführt. Hier handelt es sich um Mittelwerte aus Messungen an 10 Erzproben aus der Grube Konrad /26/. Ein Vergleich dieser Werte mit der zusätzlichen Kontamination des Erzgesteins durch das Endlager zeigt, daß der Radionuklidgehalt des Erzes nicht wesentlich verändert wird.

Zur Bewertung weisen wir außerdem auf eine Empfehlung der SSK /27/ hin. Demnach ist bei schwachradioaktivem Stahl und Eisen aus Kernkraftwerken eine bedingungslose Freigabe zur allgemeinen uneingeschränkten Verwendung und Verwertung möglich, wenn die spezifische Gesamtaktivität nicht größer als 0,1 Bq/g ist. Eine mögliche Strahlenexposition einer Person aus der Bevölkerung liegt dann bei etwa 1  $\mu$ Sv/a. Zu dieser Dosis trägt als wesentliches Radionuklid das Kobaltisotop Co 60 bei. Dieses Nuklid spielt aber bei unseren Betrachtungen aufgrund der Halbwertszeit keine Rolle. Hier überwiegen die Beta- und Alpha-Strahler, die nur gering zu einer äußeren Strahlenexposition beitragen.

Zusammenfassend stellen wir fest, daß bei den durchgeführten Ausbreitungsrechnungen die Sorptionseigenschaften des Gesteins unterschätzt wurden. Dagegen wurde die Mobilität der Radionuklide überschätzt, weil bei den Berechnungen die Salinität der Tiefenwässer nicht berücksichtigt werden konnte. Unter Beachtung der Bandbreite der gemessenen  $K_d$ -Werte erscheint ein Abbau des Erzes in der Nachbetriebsphase des Endlagers Konrad auch langfristig nicht ausgeschlossen.

Tabelle 5.1-1: Aktivitätsinventar in 10m<sup>3</sup> geförderttem Bohrgut bei einer Tiefbohrung nach 300 Jahren

Nuklid	Aktivität [Bq]	Nuklid	Aktivität [Bq]
Ac 225	1,21E+02	Pd 107	2,00E+02
Ac 227	2,77E+05	Po 210	5,41E+07
Ac 228	7,70E+06	Po 211	8,33E+02
Ag 108	4,54E+04	Po 212	4,93E+06
Ag 108m	5,10E+05	Po 213	1,19E+02
Am 241	1,25E+11	Po 214	5,41E+07
Am 242	6,64E+02	Po 215	2,77E+05
Am 242m	6,67E+02	Po 216	7,70E+06
Am 243	1,44E+04	Po 218	5,41E+07
Ar 39	7,04E+03	Pu 238	1,88E+10
At 217	1,21E+02	Pu 239	3,05E+10
Ba 137m	1,43E+09	Pu 240	3,14E+10
Bi 210	5,44E+07	Pu 241	1,65E+06
Bi 211	2,77E+05	Pu 242	6,78E+07
Bi 212	7,70E+06	Pu 243	1,69E+00
Bi 213	1,21E+02	Ra 223	2,77E+05
Bi 214	5,41E+07	Ra 224	7,70E+06
C 14	5,94E+09	Ra 225	1,21E+02
Ca 41	2,31E+06	Ra 226	5,41E+07
Cl 36	1,69E+06	Ra 228	7,70E+06
Cm 242	5,48E+02	Rb 87	1,08E+00
Cm 243	7,33E+00	Rn 219	2,77E+05
Cm 244	3,51E+05	Rn 220	7,70E+06
Cm 245	1,05E+06	Rn 222	5,41E+07
Cm 246	3,83E+05	Sb 126	7,75E+05
Cm 247	1,69E+00	Sb 126m	5,53E+06
Cm 248	7,39E+00	Se 79	1,85E+06
Cs 135	5,85E+06	Sm 147	3,70E+00
Cs 137	1,51E+09	Sm 151	1,13E+07
Eu 152	3,90E+02	Sn 126	5,53E+06
Eu 154	1,96E+00	Sr 90	6,11E+08
Fr 221	1,21E+02	Tc 99	4,00E+08
Fr 223	3,90E+03	Th 227	2,74E+05
H 3	4,08E+05	Th 228	7,70E+06
I 129	1,08E+07	Th 229	1,21E+02
Mo 93	6,39E+02	Th 230	1,09E+06
Nb 93m	1,46E+07	Th 231	3,08E+06
Nb 94	6,87E+04	Th 232	7,70E+06
Ni 59	6,91E+09	Th 234	2,93E+07
Ni 63	6,11E+10	Tl 207	2,77E+05
Np 237	1,14E+07	Tl 208	2,77E+06
Np 238	3,34E+00	Tl 209	2,66E+00
Np 239	1,44E+04	U 232	8,42E+01
Pa 231	2,80E+05	U 233	1,29E+04
Pa 233	1,14E+07	U 234	7,92E+07
Pa 234	1,34E+05	U 235	3,08E+06
Pa 234m	2,93E+07	U 236	1,54E+07
Pb 209	1,21E+02	U 237	6,36E+01
Pb 210	5,44E+07	U 238	2,93E+07
Pb 211	2,77E+05	Y 90	6,11E+08
Pb 212	7,70E+06	Zr 93	1,54E+07
Pb 214	5,41E+07		

Tabelle 5.1-2: Aktivitätsinventar im geförderten Tiefenwasser bei einer Tiefbohrung nach 300 Jahren

Nuklid	Aktivität	
	[Bq/l]	[Bq in 200m <sup>3</sup> ]
C 14	5.21E+04	1.04E+10
Cl 36	1.46E+02	2.92E+07
Ca 41	2.02E+02	4.04E+07
Ni 59	1.18E+05	2.36E+10
Ni 63	1.37E+06	2.74E+11
Se 79	1.08E+02	2.16E+07
Rb 87	1.68E-05	3.36E+00
Sr 90	4.62E+04	9.24E+09
Zr 93	1.47E+00	2.94E+05
Nb 94	1.35E-03	2.70E+02
Mo 93	2.99E-02	5.98E+03
Tc 99	1.24E+04	2.48E+09
Pd 107	8.73E-03	1.75E+03
Sn 126	1.27E+02	2.54E+07
I 129	9.34E+02	1.87E+08
Cs 135	3.63E+00	7.26E+05
Cs 137	7.97E+02	1.59E+08
Sm 151	3.56E+02	7.12E+07
Cm 248	2.80E-07	5.60E-02
Pu 244	6.58E-10	1.34E-04
Cm 244	1.03E-02	2.06E+03
Pu 240	1.13E+03	2.26E+08
U 236	3.96E+01	7.92E+06
Th 232	9.74E-02	1.95E+04
U 232	4.69E-06	9.38E-01
Cm 245	3.86E-02	7.72E+03
Pu 241	3.23E+00	6.46E+05
Am 241	1.68E+03	3.36E+08
Np 237	6.80E+00	1.36E+06
U 233	6.38E+00	1.28E+06
Th 229	3.43E-02	6.86E+03
Cm 246	1.37E-02	2.74E+03
Pu 242	2.57E+00	5.14E+05
Am 242m	5.63E-06	1.13E+00
U 238	6.68E+01	1.34E+07
Pu 238	7.20E+02	1.44E+08
U 234	1.97E+02	3.94E+07
Th 230	2.05E-01	4.10E+04
Ra 226	6.22E+02	1.24E+08
Pb 210	1.33E+03	2.66E+08
Cm 247	6.42E-08	1.28E-02
Am 243	5.23E-04	1.05E+02
Pu 239	1.14E+03	2.28E+08
U 235	7.08E+00	1.42E+06
Pa 231	2.49E-02	4.98E+03
Ac 227	8.24E-01	1.65E+05



Tabelle 5.2-1: Strahlungsrelevante Aktivitäten im Bohrgut

Nuklid	Aktivität [Bq/m <sup>3</sup> ]	Energie [keV]	Emissions- wahrscheinl. [%]
Am 241	1,25 E 10	59,5	35,9
Ba 137 m	1,43 E 8	661,7	89,8

Tabelle 6-1: Maximale Konzentration von Radionukliden an ausgewählten Orten (entnommen EU 378 /24/)

Nuklid		Maximale Konzentration im Gestein in Bq/m <sup>3</sup>					
		bei 3 km	bei 9 km	bei 15 km	bei 21 km	bei 27 km	bei 33 km
C	14	1.8E+03	1.8E-02	2.6E-07	3.4E-12	5.5E-17	3.6E-30
Cl	36	4.3E+01	2.3E+01	9.7E+00	8.7E+00	7.5E+00	2.3E+01
Ca	41	5.1E+01	2.1E+01	7.4E+00	4.8E+00	3.1E+00	5.1E+00
Ni	59	1.2E+04	5.1E+00	4.0E-04	3.1E-08	6.7E-12	2.0E-18
Se	79	3.5E+01	6.4E+00	1.8E+00	6.1E-01	6,7E-02	5.9E-02
Zr	93	7.0E+00	1.8E-08	3.3E-27	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Tc	99	7.7E+03	1.2E+03	2.0E+02	3.0E+01	1.4E+01	5.1E+00
Pd	107	5.9E-03	5.7E-03	2.6E-03	2.0E-03	1.6E-03	5.5E-05
Sn	126	6.3E+01	1.3E-01	3.0E-10	5.2E-17	0.0E+00	0.0E+00
I	129	2.9E+02	1.7E+02	8.5E+01	8.0E+01	7.5E+01	2.9E+02
Cs	135	3.9E+01	4.5E-01	5.4E-03	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Th	232	2.2E+02	2.8E+02	1.3E+02	6.4E+01	5.6E+01	3.3E+01
Np	237	1.5E+02	1.4E+00	1.2E-02	1.3E-04	0.0E+00	0.0E+00
U	235	1.3E+02	7.8E+01	5.4E+01	4.7E+01	3.7E+01	1.5E+02
U	238	9.0E+02	5.5E+02	3.8E+02	3.3E+02	2.5E+02	1.1E+03
U	234	1.4E+03	5.8E+02	3.9E+02	3.4E+02	2.6E+02	1.1E+03
U	236	7.4E+02	4.3E+02	2.9E+02	2.4E+02	1.7E+02	6.8E+02

Tabelle 6-2: Natürlicher Radionuklidgehalt an Erzproben  
(entnommen EU 183 /26/)

---

Radionuklid	Mittelwert aus Messungen an 10 Erzproben Bq/g Erz
U 238	0,0222
Ra 226	0,0185
Pb 214	0,0144
Th 232	0,0962
Ac 228	0,0962
Tl 208	0,0962
K 40	0,122

---

8 Literaturverzeichnis

- /1/ TÜV Hannover e. V.  
Ergebnisprotokoll zum Fachgespräch über "Unbeabsichtigte menschliche Einwirkung auf das Endlager" am 12.04.1991 (Az.: KTSS-Dr.Ri/Zk)  
02.05.1991
- /2/ Battelle-Institut e. V.  
Unbeabsichtigte menschliche Einwirkungen auf das Endlager Konrad  
03.03.1989
- /3/ IAEA  
Safety Series No. 68  
Wien 1984
- /4/ Nuclear Energy Agency  
Risk Associated with Human Intrusion at Radioactive Waste Disposal Sites  
Paris, 5.-7. Juni 1989
- /5/ U.S. Environmental Protection Agency  
Environmental Standards for the Management and Disposal of Spent Nuclear Fuel, High Level and Transuranic Waste, Final Rule  
40 CFR Part 191  
1985
- /6/ U.S. Nuclear Regulation Commission  
Disposal of High Level Wastes in Geologic Repositories  
10 CFR Part 60  
1988

- /7/ U.S. Department of Energy  
Nuclear Waste Policy Act of 1982  
General Guidelines for the Recommendation of Sites for Nuclear Waste Repositories  
10 CFR Part 960  
1984
- /8/ BMU  
Gemeinsame Überlegungen zur Sicherheit von Anlagen des nuklearen Brennstoffkreislaufs in Frankreich und Deutschland  
Deutsch-Französische Expertengruppe  
24. Juni 1991
- /9/ International Commission on Radiological Protection  
ICRP Publication 46  
New York 1986
- /10/ NIREX  
Research and Safety Assessment  
Safety Studies NSS/G100  
September 1988
- /11/ Nuclear Energy Agency Radiation Protection and Safety Criteria  
NEA-Workshop  
Paris, 5.-7. November 1990
- /12/ Bogorinski, P.  
Gespräche über die Langzeitsicherheitsanalyse für das Schwedische Endlager für radioaktive Abfälle  
SFR  
GRS-A-Bericht 1502  
November 1988

- /13/ SKB  
Final Storage of Spent Fuel  
SKB/KBS 1983
- /14/ SKI  
SKI Projekt - 90  
SKI Technical Report 91:23  
August 1991
- /15/ Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen  
Schutzziele für die Endlagerung radioaktiver Ab-  
fälle  
November 1993
- /16/ Projekt Gewähr 1985  
Sicherheitsberichte  
NAGRA, Baden  
Januar 1985
- /17/ BfS  
Darstellung der Verfüllungszustände von ausge-  
wählten Tiefbohrungen im Nahbereich des hydrogeo-  
logischen Modellgebiets Konrad (EU 434)  
9K/352125.30/-/GH/RB/0019/Rev. 0  
15.05.1991
- /18/ BfS  
Aktivität sicherheitstechnisch relevanter Radio-  
nuklide am Ende der Betriebsphase des Endlagers  
Konrad und zeitliche Entwicklung der Aktivität  
und der Masse von Radionukliden in der Nachbe-  
triebsphase (EU 327)  
9K/-/-/EEB/RB/0003/Rev. 01  
April 1991

- /19/           BfS  
Plan: Endlager für radioaktive Abfälle  
Schachtanlage Konrad  
9/86 in der Fassung 4/90
- /20/           TÜV Hannover/Sachsen-Anhalt e. V.  
Stellungnahme zu den Berechnungsgrundlagen und  
Randbedingungen für die "Gutachterliche Stellung-  
nahme zu Gefahren durch den Transport radioakti-  
ver Abfälle zum geplanten Endlager Konrad für das  
Gebiet der Stadt Braunschweig." der Gruppe Ökolo-  
gie GmbH (GÖK)  
16.01.1992
- /21/           BfS  
Radionuklidfreisetzung aus dem Grubengebäude für  
eine Durchströmungsrate von 735 m<sup>3</sup>/a (Bericht ET-  
IB-23; EU 373)  
9K/-/-/EGB/RB/0002/Rev. 0  
August 1990
- /22/           D.C. Kocher  
Radioactive Decay Data Tables  
Technical Information Center  
U.S. Department of Energy  
1981
- /23/           G.P. de Beer et.al.  
PELSHIE 2  
Atomic Energy Board, Pelindaba, Pretoria  
Oktober 1979  
Supplement from November 1980

- /24/           BfS  
Radionuklidkonzentration im Oxford,  
Schichtenmodell Konrad (EU 378)  
9K/352127.32/-/EGC/RB/0004/Rev. 0
- /25/           GRS  
Zwischenbericht zur Begutachtung des Endlagers  
für radioaktive Abfälle  
Nuklidtransport  
GRS-A-2859  
Dezember 1991
- /26/           BfS  
Strahlenexposition der auf der Schachanlage Kon-  
rad unter Tage Beschäftigten durch natürlich vor-  
kommende Radioaktivität im Gestein (PTB-SE-IB 27;  
EU 183)  
9K/212222/-/-/-/-/D/ED/-/Rev. 0  
vom 21.04.1988
- /27/           BMU  
Strahlenschutzgrundsätze zur schadlosen Wieder-  
verwertung und -verwendung von schwachradioakti-  
vem Stahl und Eisen aus Kernkraftwerken  
Empfehlung der Strahlenschutzkommission  
01. Oktober 1987
- /28/           GRS  
Eindimensionale Transportrechnungen im  
Wirtsgestein des Endlagers Konrad  
15.06.1993



- /29/           NLfB  
Transportdaten für Modellrechnungen zur Langzeit-  
sicherheit (Modellgebiet Konrad)  
Archiv-Nr.: 107478  
05.10.1990
- /30/           International Commision on Radiological Protec-  
tion  
ICRP Publication 60  
New York 1991