



---

Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH

INTERNATIONALE VORGEHENSWEISE BEIM  
NACHWEIS DER LANGZEITSICHERHEIT VON  
ENDLAGERN

GRS - A - 1538

(März 1989)

Auftrags-Nr.: 65300



Anmerkung:

Dieser Bericht wurde im Rahmen der Begutachtung Konrad im Auftrag des TÜV-Hannover erstellt. Der Eigentümer behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit Zustimmung des Auftraggebers zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.



## Internationale Vorgehensweise beim Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern

### 1. EINLEITUNG

Die Sicherheitsmäßige Beurteilung eines Endlagers in der Nachbetriebsphase wird mittels Sicherheitsanalyse geführt. Dabei werden probabilistische oder/und deterministische Rechenverfahren eingesetzt, deren Rechnungen beliebig lange Zeiträume überstreichen können. In Unkenntnis der zukünftigen geologischen, klimatischen und biologischen Entwicklung innerhalb dieser Zeiträume liegen den meisten deterministischen Modellbetrachtungen die heutigen hydrogeologischen und klimatischen Verhältnisse zugrunde. Die Ermittlung der Konsequenzen erfolgt auf der Grundlage heutiger Gepflogenheiten und Ernährungsgewohnheiten. Im Rahmen probabilistischer Analysen wird der Versuch unternommen, den zu erwartenden Entwicklungen in ferner Zukunft Rechnung zu tragen.

Die internationale Vorgehensweise bei der Sicherheitsbeurteilung von Endlagern in der Nachbetriebsphase ist z.Zt. nicht einheitlich. Im folgenden sollen die Regelwerke und Vorgehensweisen im Ausland dargestellt werden.

## 2. INTERNATIONALE VORGEHENSWEISE

### 2.1 Kanada

Die kanadische Atomic Energy Control Board hat im Jahr 1987 zwei Regelwerke verabschiedet, in denen die Grundlagen für die Nachweisführung der Langzeitsicherheit dargelegt werden. Basis der Bewertung ist die Einführung eines Risikogrenzwertes.

Für ein Endlager, bei dem eine institutionelle Kontrolle in der Nachbetriebsphase nicht gefordert wird, soll das Individualrisiko von  $10^{-6}$  schweren gesundheitlichen Schäden (serious health effects) pro Jahr nicht überschritten werden\*. Für Lager mit institutioneller Kontrolle kann das Individualrisiko von  $10^{-6} \text{ a}^{-1}$  überschritten werden, wenn

- dieses Risiko kompatibel zu Optimierungsrechnungen ist und
- sichergestellt ist, daß das vorhergesagte Individualrisiko das z.Zt. akzeptierte Risiko laufender Anlagen mit gleichem Abfall nicht übersteigt.

In den Richtlinien wird weiter ausgeführt, daß

- die Individualdosis die kritische Bevölkerungsgruppe (nach Ort, Zeit und Population) erfassen soll und
- heutige Lebensgewohnheiten in den Analysen in die Zukunft projiziert werden sollen.
- Die Wahrscheinlichkeiten der Belastungsszenarien sollen mittels relativer Eintrittshäufigkeiten oder durch "best estimate" Schätzungen von Fachleuten erfolgen.
- Der betrachtete Zeitraum zur Berechnung des Individualrisikos beträgt 10 000 Jahre. Wenn das vorhergesagte Risiko sein Maximum nicht in diesem Zeitraum erreicht, so ist nachzuweisen, daß jenseits des Zeitraumes von  $10^4$  Jahren eine plötzliche Freisetzung mit dramatischem Anstieg und akuten radiologischen Risiken nicht erwartet werden muß.

\* Im folgenden wird der Risikogrenzwert in der Einheit pro Jahr ausgewiesen, z.B.  $10^{-6}/\text{a}$

- Bei den Rechnungen soll der Risikokonversionsfaktor von  $2 \cdot 10^{-2} \text{Sv}^{-1}$  und die Wahrscheinlichkeit des Belastungsszenarios verwendet werden. Dabei sollen entweder die berechnete jährliche Dosis als Ergebnis deterministischer Analysen oder aber die Durchschnittswerte der jährlichen Individualdosis als Ergebnis probabilistischer Analysen herangezogen werden.
- Werden probabilistische Analysen herangezogen, so sollen nicht mehr als 5 % der Rechnungen den Grenzwert der jährlichen Individualdosis von 1mSv überschreiten.

Der Risikowert von  $10^{-6}/\text{a}$  korrespondiert mit einer Individualdosis von 0.05 mSv/a, was etwa 2,5 % der natürlichen Strahlenexposition in Kanada entspricht.

In der Praxis werden Sicherheitsanalysen mit dem in Kanada entwickelten Probabilistik-Codes SYVAC durchgeführt. Der Zeitraum, den die Rechnungen überstreichen, beträgt  $10^7$  Jahre, wobei Individualdosen aufgrund von Freisetzungsszenarien ermittelt werden. Ergebnis dieser probabilistischen Analyse ist eine Verteilung der Individualdosis, die an den oben aufgeführten Grenzwerten (95 % der Ergebnisse  $< 1\text{mSv}$ ) gemessen wird.

## 2.2 USA

Der Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern in USA wird risikoorientiert vorgenommen. Zur Bewertung wurde ein Risikogrenzwert aus dem Risiko abgeleitet, welches einer Population Menschen aus einer Uranerzlagerstätte erwächst, die so groß ist, daß aus ihrem Vorkommen die einzulagernde Abfallmenge erzeugt werden könnte. Dieser Grenzwert wurde zu 1000 schwere gesundheitliche Schäden in  $10^4$  Jahren pro  $10^5$  t abgebrannter Brennelemente ermittelt und in die Standards der USA aufgenommen.

Die Grundlage des Regelwerkes zur Endlagerung bzw. Sicherheit von Endlagern in der Nachbetriebsphase bildet der EPA Standard 40 CFR 191. In ihm werden Handlungsanweisungen für die Nachweisführung über einen Zeitraum von  $10^4$  Jahren gegeben, wie z.B.

- Vorgabe des Grenzwertes von maximal 1 000 Toten pro  $10^5$ t Brennelemente über einen Zeitraum von  $10^4$  Jahren,
- Vorgabe kumulierter Freisetzungsmengen radioaktiver Stoffe in die Umgebung (Tab. 1) im Zeitraum von  $10^4$  Jahren.
- Vorgabe zulässiger Konzentrationen im Grundwasser (Anhang).

Basierend auf dieser Regel formulierte die NRC in ihrem Standard 10 CFR 60 technische Kriterien für die Endlagerauslegung (Anhang). In ihnen wird für einen Zeitraum von 300-1000 Jahre ein Gebindeabschluß (Containment Period) gefordert. In Anschluß daran wird definiert, daß die zulässige Freisetzungsrate aus einem Endlager das  $10^{-5}$ fache des Inventars zum Zeitpunkt 1 000 a nicht übersteigen darf. Weiterhin wird gefordert, daß die kürzeste Grundwasserlaufzeit vom Endlager in die Umgebung (accessible environment) mehr als 1 000 Jahre betragen soll.

Das Regelwerk des Antragsstellers DOE (10 CFR 960) wiederum stützt sich auf die Regeln der EPA und NRC ab (Anhang). Sie greift die Grenzwerte und den Zeitrahmen der EPA und NRC auf. Bei der Bewertung geeigneter oder besonders geeigneter Standortbedingungen werden auch Extrapolationen aus der Quartärperiode in die nächsten  $10^5$  Jahre aufgeführt.

Sicherheitsnachweise werden in USA mittels probabilistischer Analysen durchgeführt. Die Rechnungen werden zeitlich nicht limitiert sondern bis zum Auftreten der Maxima der Strahlenexpositionen ermittelt. Für den Bewertungszeitraum  $10^4$ a wird eine Verteilung der Belastung ermittelt und mit dem Risikogrenzwert verglichen. Eine Angabe, welcher Prozentsatz der Rechnungen oberhalb des Grenzwertes toleriert wird, läßt sich in den Regelwerken nicht finden.

### 2.3 Schweiz

In der Schweiz hat die Hauptabteilung für Sicherheit von Kernanlagen (HSK) Schutzziele definiert, deren Einhaltung die Sicherheit eines Endlagers gewährleisten soll, wie z.B. die Richtlinie R-21:

R-21: Radionuklide, die als Folge von realistischere anzunehmenden Vorgängen und Ereignissen aus einem verschlossenen Endlager in die Biosphäre gelangen, sollen zu keiner Zeit zu Individualdosen führen, die 0,1 mSv/a überschreiten.

Aus diesem Schutzziel resultiert in der von der NAGRA durchgeführten Sicherheitsanalyse des Projekts Gewähr eine zeitliche unbeschränkte Konsequenzenanalyse für die Biosphäre mit der Ermittlung von Individualdosen nach heutigen Maßstäben.

Neben dem Vergleich mit dem Grenzwert des Schutzzieles werden die errechneten Nuklidkonzentrationen im Grundwasser den natürlichen Radioaktivitäten in der Biosphäre der Schweiz gegenübergestellt. Weiterhin werden die Rechenergebnisse mit der geschätzten mittleren Strahlenexposition in Gebieten der Schweiz mit normalem Untergrund verglichen.

Weitere Vergleiche werden im Toxizitätsbereich durchgeführt, wobei jedoch darauf hingewiesen wird, daß die Toxizität zwar ein Maß für das Gefährdungspotential darstellt, für sich alleine jedoch keine Aussage über das Risiko zuläßt. Aussagen über Risiken werden stark von den Barrieren und deren Wirksamkeiten gesteuert. Es werden die Toxizitätsindizes des Endlagerinventars verglichen mit denen

1. eines Uranerzes zur Erzeugung von Brennstoffen (50 000 tU),
2. von 40 %igem Uranerz, welches in dem Ausbruchvolumen der Stollen liegt,
3. von 0,2 %igem Uranerz mit einem Volumen, berechnet aus der Lagerflächenebene ( $1,2 \text{ km}^2$ ) und dem Stollendurchmesser,
4. des Granits, das dem Endlager überlagert ist (10 ppmU, 25 ppmTh, 4 %K) und
5. des Granits mit dem Volumen des Stollenareals.

Gutachten der "Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen"  
HSK zum Projekt Gewähr.

In der Begutachtung der NAGRA-Arbeiten wertet die HSK die Toxizitätsvergleiche nur als einen Vergleich von Potentialen und sieht als zentralen Bewertungsmaßstab die Wirkung freigesetzter Nuklide in der Biosphäre. Sie schlägt im Bewußtsein aller Argumente zu Vergleichszwecken die Individualdosis vor.

Die HSK hält auch für zukünftige Rechnungen die Ermittlung der Freisetzungsrates in die Biosphäre und die daraus resultierende Dosisbelastung für einen geeigneten Bewertungsmaßstab. Eine zeitliche Begrenzung dieser Dosisberechnung wird nicht vorgeschlagen.

#### 2.4 Schweden

Die Vorgehensweise der Schweden im Sicherheitsbericht KBS-3 von 1983 entspricht dem der Schweizer; sie berechnen die Individualdosis ohne Zeitbegrenzung. Das schwedische nationale Institut für Strahlenschutz (SSI) hat als Grenzwert für die Kernkraftwerke 0,1 mSv/a eingeführt. In KBS-3 werden folgende Grundsätze für die Langzeitsicherheit eines Endlagers vorgegeben:

1. In ungestörter Nachbetriebsphase soll die zu erwartende Strahlenexposition durch das Endlager für die am höchsten belastete Bevölkerungsgruppe kleiner 0,1 mSv/a sein.
2. Selbst unter ungünstigen Bedingungen soll die zu erwartende Strahlenexposition durch das Endlager für die am höchsten belastete Bevölkerungsgruppe kleiner als 1 mSv/a sein.
3. Das Endlager soll die natürliche Strahlenexposition in der Umgebung eines Endlagers nicht wesentlich beeinflussen bzw. verändern.

In der Konsequenzenanalyse werden Individualdosen über Millionen von Jahren berechnet und sowohl mit den Grenzwerten von SSI und ICRP als auch mit der mittleren natürlichen Strahlenexposition in Schweden verglichen.

Es wird im Bericht auf die natürliche radioaktive Belastung der Grundwässer eingegangen und darauf hingewiesen, daß diese sich für die Urannuklide nahezu im Sättigungszustand befinden. So wird in anfänglichen KBS-Reports aufgezeigt, daß für die Nuklide Radium und Uran die natürliche Grundwasserbefruchtung sehr hoch sein kann. In vielen Grundwässern sind die Löslichkeitsgrenzwerte für beide Nuklide nahezu erreicht, so daß die zu erwartende zusätzliche Belastung durch ein Endlager relativ gering ist.

1985 hat die SKB die Entwicklung von probabilistischen Rechenmethoden aufgenommen.

Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens zum Endlager für schwach radioaktive Stoffe SFR wurden von SKI Unsicherheitsanalysen mit probabilistischen Methoden durchgeführt, die zur Absicherung deterministischer Rechnungen herangezogen wurden.

Bislang sind in Schweden keine speziellen Endlagerkriterien entwickelt worden. Für die Endlagerung abgebrannter Brennelemente wird jedoch die Notwendigkeit der Entwicklung spezieller Endlagerkriterien gesehen. Für diese werden Überlegungen hinsichtlich einer Begrenzung des Betrachtungszeitraumes als auch der Veränderung des Bewertungsmaßstabes bei langen Zeiträumen angestellt.

## 2.5 Großbritannien

Die Sicherheitsprinzipien in GB basieren auf dem Risikokonzept, welches einen Grenzwert von  $10^{-6}/a$  vorschreibt. Für eine zeitliche Bewertung der Nachbetriebsphase werden verschiedene Zeitspannen diskutiert, die mit verschiedenen Ereignissen korreliert sind. So werden von der NIREX 5 Zeitspannen betrachtet:  $0-10^2 a$ ;  $10^2-10^4 a$ ;  $10^4-10^5 a$ ;  $10^5-10^6 a$ ;  $10^6-10^8 a$ . In die beiden ersten Zeitabschnitte fallen interglaziale und klimatische Veränderungen (natürliche oder aber auch aufgrund des Treibhauseffektes); glaziale und interglaziale Zyklen werden den beiden nächsten Zeitspannen zugeordnet. Größere klimatische Stabilität erwartet man in der letzten Spanne. Auswirkungen der Gasbildung auf das Endlagersystem wurden in erster Linie in den beiden ersten Zeitspannen (bis  $10^4 a$ ) erwartet. Administrative Restriktionen



tionen bei der Nutzung des Geländes über dem Endlager werden für die ersten  $10^2$  Jahre angesetzt, jenseits dieser Zeitgrenze sind Intrusionen zu betrachten (im Zeitraum  $10^2$ - $10^5$ a). Erste Freisetzungen von Radionukliden in die Biosphäre werden für Zeiten größer  $10^5$  Jahre unterstellt, so daß für den Grundwassertransport die Zeitspannen größer  $10^4$  Jahren von besonderem Interesse sind.

In Großbritannien werden Sicherheitsanalysen derzeit mit probabilistischen Methoden durchgeführt. Zeitbegrenzungen werden nicht vorgegeben. Die zur Anwendung kommenden Rechen-codes sind z.B. SYVAC (Department of Energy), PSA (National Radiation Protection Board), MASCOT (Atomic Energy Research Establishment).

## 2.6 Finnland

In Finnland sind bislang keine Regeln und Richtlinien zur Festlegung von Grenzwerten und Nachweiszeiträumen festgelegt worden. In den z.Zt. vorliegenden Sicherheitsanalysen stützen sich die Analytiker auf die Empfehlungen der OECD/NEA ab. Dort wurde ein Risikogrenzwert von  $10^{-5}$ /a empfohlen.

Die Sicherheitsanalysen der Kraftwerksbetreiber werden deterministisch ohne jede Zeitbegrenzung durchgeführt. Als Ergebnis der Analysen eines Basisszenarios (ungestörter Nachbetrieb) wurden die jährliche Strahlenbelastung über der Zeit ermittelt und mit der natürlichen Strahlenbelastung, hervorgerufen durch Wasseraufnahme aus Trinkwasserbrunnen, verglichen.

Ausgehend vom Basisszenario werden weitere Szenarien und Freisetzungspfade betrachtet und die Strahlenbelastung ermittelt. Dabei werden die Einleitungsereignisse, wie z.B. undichte Kanister, oxidierendes Grundwassermilieu, "human intrusion", mit Eintrittswahrscheinlichkeiten belegt. Die errechnete maximale Dosis wird mit Hilfe des Konversionsfaktors in einen Risikowert umgerechnet und mit dem obigen Grenzwert verglichen.

## 2.7 Frankreich

Eine Arbeitsgruppe des Geologen Prof. Goguel, die im Auftrag des Industrieministers und des Staatssekretärs für Energie Kriterien für die Standortauswahl eines Untertagelabors erarbeiten sollte, hat letztlich Kriterien für ein Endlager entwickelt. Dabei ging die Gruppe von den Dosisgrenzwerten und dem Risikogrenzwert der ICRP-Empfehlungen aus:

Dosis:  $D = 1 \text{ mSv/a}$

Risiko:  $R = 10^{-5}/\text{a}$

Die betrachteten Zeiträume werden in Bereiche stabiler geologischer Bedingungen ( $0-10^4$  Jahre) und darüber hinaus Zeiträume veränderlicher Bedingungen (z.B. aufgrund von klimatischen Veränderungen, Eiszeiten usw.) aufgeteilt. Im Betrachtungszeitraum von  $10^4 - 10^5$  Jahren wird die Änderung der geologischen Bedingungen betrachtet und von etwa zwei Eiszeiten ausgegangen. Es wird auf die abnehmende Aussagesicherheit mit fortschreitendem Zeitverlauf hingewiesen. Sicherheitsanalysen sollen die Wirksamkeiten der geologischen Barriere vor dem Hintergrund des zu erreichenden radiologischen Schutzzieles aufzeigen.

Frankreich hat probabilistische Methoden in der Entwicklung, ob ein zukünftiger Sicherheitnachweis für ein Endlager probabilistisch oder deterministisch geführt werden wird, ist z.Zt. nicht zu erkennen.

## 2.8 Italien

Der Grenzwert für die Endlager ist auf  $0.1 \text{ mSv/a}$  effektive Dosis festgesetzt worden.

## 2.9 ICRP (OECD, IAEA)

Der Schwerpunkt des ICRP Konzeptes liegt auf der Begrenzung des Individualschadens. Bei der Einführung eines Grenzwertes gilt:

- Die Risiken für künftig lebende Individuen sollen auf das selbe Niveau begrenzt werden wie die Risiken heute lebender Individuen.
- Die Individualdosis der über ein Menschenleben ermittelten Jahresdosis in der kritischen Bevölkerungsgruppe ist auf 1 mSv/a begrenzt.
- Das jährliche Risiko, hervorgerufen durch probabilistische Ereignisse, wird auf  $10^{-5}$  schwere gesundheitliche Schäden pro Jahr begrenzt.

Der Dosisgrenzwert 1 mSv/a und das Risiko  $10^{-5}$ /a stellen die untere Grenze eines Bereiches nicht akzeptierter Risiken dar.

Eine zeitliche Begrenzung für die Nachweisführung wird nicht gegeben.

### 3. ZUSAMMENFASSUNG

In Tabelle 1 sind sowohl die Grenzwerte und Zeiträume für Sicherheitsnachweise als auch die Vorgehensweise bei den Sicherheitsanalysen für einzelne Länder aufgeführt.

**Kanada:** Der Grenzwert wird risikoorientiert vorgegeben. Das radiologische Individualrisiko soll kleiner sein als  $10^{-6}$  schwere gesundheitliche Schäden pro Jahr. Der Dosisgrenzwert wird mit 0,05 mSv/a effektiver Dosis vorgegeben.

Sicherheitsanalysen werden mit probabilistischen Codes durchgeführt. Eine Zeitbegrenzung auf  $10^4$  Jahre ist vorgegeben unter der Randbedingung, daß im Zeitraum darüber hinaus keine plötzlichen und dramatischen Änderungen zu erwarten sind. 5 % der Rechnungen dürfen den Grenzwert von 1 mSv/a überschreiten.

**USA:** Es wird ein risikoorientierter Grenzwert von 1000 schweren gesundheitlichen Schäden pro  $10^5$  t Schwermetall in  $10^4$  Jahren festgelegt. Für die ersten 300-1000 a nach Abschluß des Endlagers wird ein dichter Gebindeabschluß gefordert. Im Anschluß an diese Containmentperiode soll die Freisetzungsrates aus dem Endlager kleiner sein als das  $10^{-5}$ -fache des Inventars zum Zeitpunkt 1000 a.

Der Nachweiszeitraum für eine Sicherheitsanalyse, die mit probabilistischen Methoden durchgeführt wird, beträgt  $10^4$  a. In der Praxis werden die Analysen bis zum Auftreten des Maximums ohne Zeitbegrenzung durchgeführt.

**Schweiz:** Die Richtlinie R-21 des HSK fordert, daß die Belastung aus einem verschlossenen Endlager zu keiner Zeit die effektive Dosis 0,1 mSv/a überschreiten soll.

Zeitbegrenzungen werden in den NAGRA-Analysen nicht vorgegeben. Neben den Dosisbewertungen werden Toxizitätsvergleiche mit Uranerz durchgeführt. Die NAGRA-Analysen wurden deterministisch durchgeführt, wenngleich auch mit konservativen und realistischen Datensätzen.

Schweden: Die Grenzwerte effektiver Dosen, die das schwedische Institut für Strahlenschutz (SSI) vorgegeben hat, sind 0,1 mSv/a für den ungestörten Nachbetrieb und 1 mSv/a für ungünstige Bedingungen. Das Endlager soll weiterhin die natürliche Strahlenexposition in der Umgebung nicht wesentlich beeinflussen und verändern.

Die Sicherheitsanalysen wurden bislang ohne Zeitbegrenzung mit deterministischen Methoden durchgeführt. Im Falle SFR sind probabilistische Analysen flankierend mit herangezogen worden.

Für ein Endlager für HAW werden Endlagerkriterien entwickelt und über eine Begrenzung der Betrachtungszeiträume und der Bewertungsmaßstäbe nachgedacht.

Finnland: In Anlehnung an die OECD/NEA wird ein Risikogrenzwert von  $10^{-5}$  /a verwendet.

Die Sicherheitsanalysen werden mit deterministischen Methoden durchgeführt. Eine zeitliche Begrenzung ist nicht vorgesehen. Bewertungsmaßstab ist für alle Zeiträume die Individualdosis, die am obigen Grenzwert und der natürlichen Strahlenbelastung gemessen wird.

Großbritannien: Der Grenzwert des Risikokonzeptes beträgt  $10^{-6}$ /a. Für die Sicherheitsanalyse werden 5 Zeiträume ( $0-10^2$ ,  $10^2-10^4$ ,  $10^4-10^5$ ,  $10^5-10^6$ ,  $10^6-10^8$  a) von der NIREX vorgeschlagen: Sicherheitsanalysen werden mit probabilistischen Methoden durchgeführt.

Frankreich: Die Arbeitsgruppe um Prof. Goguel stützt sich auf die ICRP-Richtlinien ab. Zeiträume werden von  $0-10^4$  a und von  $10^4-10^5$  a eingeführt.

Italien: Der Grenzwert für die Endlager ist auf 0,1 mSv/a effektive Dosis festgesetzt worden.

ICRP: Grundsatz

Die Risiken für künftig lebende Individuen sollen auf demselben Niveau begrenzt werden, wie die Risiken für die heute lebenden Individuen, d.h.

- Begrenzung der Individualdosis auf 1 mSv/a über ein Menschenleben gemittelte effektive Dosis in der kritischen Bevölkerungsgruppe

zusätzlich

- Begrenzung des jährlichen Risikos hervorgerufen durch probabilistische Ereignisse auf  $10^{-5}$  schwere gesundheitliche Schäden/Jahr.

Eine Begrenzung des Zeitrahmens für diese Risikorechnung ist nicht vorgesehen.

IAEA: Hat die ICRP Grundsätze übernommen.

OECD/NEA: Ist praktisch identisch mit den ICRP-Grundsätzen.

Tabelle 1:

Land	Sicherheits- analysen		Individual- Risiko [1/a]	Individual- Dosis- begrenzung [mSv/a]	Zeitraum [a]
	deter- minist.	proba- bilist.			
Kanada		X	$10^{-6}$	0,05	$10^4$ *)
USA		X	$10^{-6}/t_{SM}^{**})$	$10^{-5}$ vom Inventar nach $10^3$ a	$10^4$
Schweiz	X			0,1	-
Schweden	X	(X)		0,1-1,0	-
Groß- britannien		X	$10^{-6}$	0,1	5 Perioden $0-10^8$
Frankreich			$10^{-5}$	1,0	2 Perioden $0-10^5$
Italien				0,1	
Finnland	X		$10^{-5}$	1,0	-
ICRP OECD/NEA IAEA				1,0	

\*) Über den Betrachtungszeitraum hinaus sollen keine dramatischen Änderungen der Dosen zu erwarten sein.

\*\*\*) SM: Schwermetall

Anhang:

Im Anhang sind die Standards der USA im Hinblick auf die Langzeitsicherheit und der sie flankierenden Anforderungen an Endlagerstandorte und des Multibarrierensystems dargestellt worden.



## USA

Die Grundlagen für eine langzeitige Sicherheitsbetrachtung von Endlagern sind in den Regelwerken der EPA niedergelegt. Auf diese Regeln beziehen sich die Standards der NRC und DOE.

### A. EPA Standard 40 CFR Part 191

Während in Teil A dieser Regel "Environmental Standards for Management and Storage" die Grenzwerte für die radiologische Belastung aus Handhabung und Einlagerungsbetrieb festgeschrieben sind, werden im Teil B die Freisetzung von radioaktiven Stoffen, die radiologische Belastung und die Kontamination in der Umgebung eines Endlagers abgehandelt.

#### A.1 Einschlußbedingungen

Für den Einschluß der radioaktiven Stoffe (Spent Fuel, HAW und TRU) wird gefordert, daß die Auslegung des Endlagers so vorzunehmen ist, daß unter vernünftigen Annahmen und unter Berücksichtigung aller signifikanten Prozesse und Ereignisse die kumulierte Freisetzung von Radionukliden in die Umgebung (accessible environment) über einen Zeitraum von 10 000 Jahren nach Einlagerung

1. mit einer Wahrscheinlichkeit kleiner 1:10 die Grenzwerte der Tabelle 2 nicht überschreitet und
2. mit einer Wahrscheinlichkeit kleiner 1:1000 das 10-fache der Grenzwerte der Tabelle 2 nicht überschreitet.

Der Nachweis ist auf der Basis von Sicherheitsanalysen zu führen. In dem Standard wird darauf hingewiesen, daß mit zunehmender Zeit die Daten und Annahmen und damit auch die Aussagen immer unsicherer werden.

Der Zeitraum von 10 000 Jahren wird als ausreichend lange angesehen, um geologische Endlager mit guten und weniger guten Isolationsfähigkeiten zu unterscheiden. Auf der anderen Seite ist der Zeitraum so bemessen, daß geologische Veränderungen während der Betrachtungen ausgeschlossen werden können.

Dieser Vorschrift liegt eine Festlegung des Risikos durch die EPA zugrunde. Sie schreibt vor, daß bei der Endlagerung von HAW, basierend auf  $10^5$  t abgebrannter Brennelemente, maximal 1000 Tote über einen Zeitraum von  $10^4$  Jahren akzeptiert werden. Die Risikogröße wurde abgeleitet aus dem Risiko, welches einer Population aus einer nicht erschlossenen Uranerzlagerstätte erwächst, die so groß ist, daß aus ihrem Vorkommen die endzulagernde Wastemenge erzeugt werden könnte.

Der 2. Grenzwert soll die wahrscheinlicheren natürlichen Ereignisse wie z.B. Versetzungsbewegungen oder Breccienbildungen einschließen. Größere Freisetzungen sind für jene Ereignisse zugelassen, deren Eintrittswahrscheinlichkeiten weitaus kleiner sind als die oben angesprochenen.

#### A.2 Sicherheitsanforderungen

Die Regel stellt u.a. folgende 5 Anforderungsgruppen an das Endlager auf:

- Aktive institutionelle Kontrolle solange, wie sie in der Nachbetriebsphase praktikabel durchführbar ist.
- Endlager sollen für künftige Generationen gekennzeichnet werden.
- Endlager sollen mit technischen und natürlichen Barrieren aufgebaut werden.
- Standorte mit Ressourcen oder Anhäufungen seltener Stoffe sollten vermieden werden.
- Endlagersysteme sollen so ausgewählt werden, daß eine Rückholbarkeit des Abfalls für einen bestimmten sinnvollen Zeitraum möglich ist.

#### A.3 Individualschutz

Die Regel führt aus, daß Endlagersysteme so auszulegen sind, daß unter ungestörten Bedingungen die Individualdosis an jeder Stelle des "accessible environments" 25 mrem Grenzkörperdosis oder 75 mrem Jahresdosis des kritischen Organs nicht überschritten wird.

#### A.4 Grundwasserschutz

Zum Schutz des Grundwassers soll das Endlager so angelegt werden, daß unter ungestörten Bedingungen und vernünftigen Annahmen für 1000 Jahre nach Einlagerung

- die Konzentration von Ra 226 und Ra 228 (gemittelt über ein Jahr) 5 pCi/l nicht übersteigt,
- die Konzentration  $\alpha$ -emittierender Nuklide (inklusive Ra 226, Ra 228 jedoch ohne Rn) 15 pCi/l nicht überschreitet oder
- die Konzentration von Radionukliden, die entweder  $\beta$ - oder  $\gamma$ -Strahler sind, so beschränkt wird, daß eine jährliche Äquivalentdosis von 4 mrem nicht überschritten wird (Wasseraufnahme 2l/d).
- Liegt unter natürlichen Gegebenheiten am Standort eine Radionuklidkonzentrationen oberhalb der Grenzwerte vor, so soll das Endlagersystem so ausgelegt werden, daß unter ungestörten Bedingungen im Zeitraum von 1000 Jahren keine weitere Zunahme der Konzentration des betreffenden Nuklids zu erwarten ist.

#### B. NRC Standard 10 CFR 60

"Disposal of High Radioactive Waste in Geologic Repositories"

Auf der Basis des EPA Standards hat die NRC die Regel 10 CFR 60 entwickelt. In ihr werden die Vorgehensweisen für ein Genehmigungsverfahren für Endlager geregelt. Im folgenden wird auf die Teile des Regelwerkes zurückgegriffen, die sich mit der Nachbetriebsphase von Endlagern befassen.

##### B.1 Endlagerabschluß

In der Regel werden Anforderungen an die Antragsunterlagen zur Schließung des Endlagers formuliert:

- Beschreibung des Programms zum Monitoring der Nachbetriebsphase.
- Eine detaillierte Beschreibung der notwendigen Meßgrößen, des Landbedarfs, der Landkontrolle, der Datensicherung, der Kennzeichnung des Standortes usw.

- Geologische, geophysikalische, geochemische, hydrologische oder sonstige Daten, die während des Betriebs gewonnen wurden und für die Nachbetriebsphase relevant sind.
- Ergebnisse aus F+E-Arbeiten, die für die Nachbetriebsphase relevant sind.

## B.2 Technische Kriterien

Im Teil E werden Ausführungsbestimmungen für den Bau eines Endlagers und die Langzeitsicherheit ausgeführt:

- Die Auswahl und Ausführung des Endlagers soll nach den Bestimmungen der EPA (40 CFR 191) erfolgen.

Das Barrierensystem soll so angelegt werden, daß

- während einer Zeitspanne von 300-1000 a nach Versiegelung des Endlagers Radionuklide in den Containern zurückgehalten werden (Containmentperiode),
- in der Zeitspanne nach der Containmentperiode die Freisetzungsrates aus dem Endlager das  $10^{-5}$ -fache des Inventars zum Zeitpunkt 1000 Jahre nach Versiegelung nicht übersteigt. Die NRC kann jedoch für spezielle Nuklide andere Grenzwerte vorgeben, wie z.B. daß die Freisetzungsrates eines Einzelnuklides 0,1 % der gesamten Rate nicht überschreiten soll.
- Am Standort soll die kürzeste Grundwasserlaufzeit vom Endlager zum "accessible environment" (Abb. 1) größer als 1000 Jahre betragen.

Ausführungen über die Nachweisführung werden nicht gemacht. Es wird auf die Standards der EPA verwiesen.

## C. DOE Standard 10 CFR 960

Die DOE Regel stützt sich auf die EPA und NRC Richtlinien (40 CFR 191, 10 CFR 60) ab. Der Teil C beschreibt die Anforderungen des Antragstellers DOE an das Endlager zur Gewährung der Sicherheit in der Nachbetriebsphase. In den Richtlinien werden Bedingungen unterschieden,

die einen Standort als besonders geeignet und ungeeignet erscheinen lassen. Im folgenden werden für wesentliche Teilbereiche des Multi-barrierensystems die Bedingungen aufgeführt.

### C.1 Geohydrologie

- Besonders geeignete Standortbedingungen
  - Grundwasserlaufzeiten > 10 000 a;
  - Aus der Extrapolation des geologischen und hydrologischen Verhaltens von der Quartärperiode in die nächsten  $10^5$  Jahre lassen sich keine negativen Entwicklungen des Isolationsvermögens des Standortes ableiten;
  - Die Stratigraphie und Hydrologie des Standortes ist so beschaffen, daß das geohydrologische System charakterisiert und modelliert werden kann.
- Geeignete Standortbedingungen
  - Der Standort erfüllt die Bedingungen, die in den oben erwähnten Standards vorgegeben sind (Grundwasserlaufzeiten > 1000 Jahre usw).
- Möglicherweise ungeeignete Standortbedingungen
  - Veränderungen in den geohydrologischen Bedingungen, wie z.B. Gradient, Leitfähigkeit, eff. Porosität usw. sind möglich, so daß der Radionuklidtransport sich signifikant ändert. Die Anwesenheit von Grundwasserreservoirien und geologischen Gegebenheiten, wie z.B. Versetzungen, Scherzonen, Faltungen, Laugentaschen usw. ist zu unterstellen.
- Ungeeignete Standortbedingungen
  - Grundwasserlaufzeiten < 1000 Jahre

## C.2 Geochemie

- Besonders geeignete Standortbedingungen
  - Aus der Extrapolation von der Quartärperiode in die nächsten  $10^5$  Jahre läßt sich keine signifikante Verhaltensänderung ableiten.
  - Die geochemischen Bedingungen sollen die Ausfällung, die Matrixdiffusion und Sorption der Radionuklide bewirken. Konditionen, die eine Erhöhung der Mobilität nach sich ziehen, wie z.B. Komplexbildung, sind zu vermeiden.
  - Kombinationen von geochemischen Bedingungen und Grundwasserfluß in Wirtsgestein derart, daß die Freisetzungsrates der Radionuklide aus dem Endlager kleiner als das  $10^{-5}$ -fache als Inventar zum Zeitpunkt 1000 Jahre nach Einlagerung beträgt.
  - Jede Kombination von geochemischen und physikalischen Retardationsprozessen, die die vorhergesagte kumulierte Freisetzung von Radionukliden in das "accessible environment" um den Faktor 10 reduziert.

## C.3 Klimatische Veränderungen

- Besonders geeignete Standortbedingungen
  - Oberflächengewässer derart, daß die erwarteten Klimaänderungen der nächsten  $10^5$  Jahre die Isolation der Radionuklide nicht negativ beeinflußt.
  - Geologische Standortsituationen, deren Hydrologie von der Quartärperiode nur unwesentlich beeinflußt wurde.
- Möglicherweise ungeeignete Standortbedingungen
  - Veränderung des Grundwasserspiegels innerhalb der nächsten 10 000 Jahre derart, daß das ungesättigte Wirtsgestein in den wassergesättigten Zustand übergeht.
  - Veränderungen bzw. Störungen des hydraulischen Gradienten, der Leitfähigkeiten, der eff. Porositäten oder des Grundwasserflusses derart, daß eine signifikante Vergrößerung der Nuklidfreisetzung nicht auszuschließen ist.

#### C.4 Erosion

- Besonders geeignete Standortbedingungen
  - Lokation des Endlagers wenigstens 300 m unterhalb der Erdoberfläche.
  - Die Geologie und die natürliche Erosionsrate des Standortes sollte innerhalb der Quartärperiode so bewertet werden können, daß für eine Freisetzung von Radionukliden aus dem Endlager aufgrund von Erosion eine Wahrscheinlichkeit kleiner  $10^{-4}/a$  für die nächsten  $10^4$  Jahre anzusetzen ist.
  - Standortbedingungen derart, daß die Freilegung des Endlagers aufgrund von Erosionen nicht innerhalb der nächsten 1 Mio Jahre zu erwarten ist.

#### C.5 Tektonik

- Besonders geeignete Standortbedingungen
  - Bedingungen dergestalt, daß aufgrund von Extrapolationen aus der Quartärperiode in die Zukunft hinein die Wahrscheinlichkeit einer Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung aufgrund tektonischer Aktivitäten kleiner  $10^{-4}$  über die nächsten  $10^4/a$  Jahre anzusetzen ist.

# NRC rule diagram of engineered barrier system and geologic setting

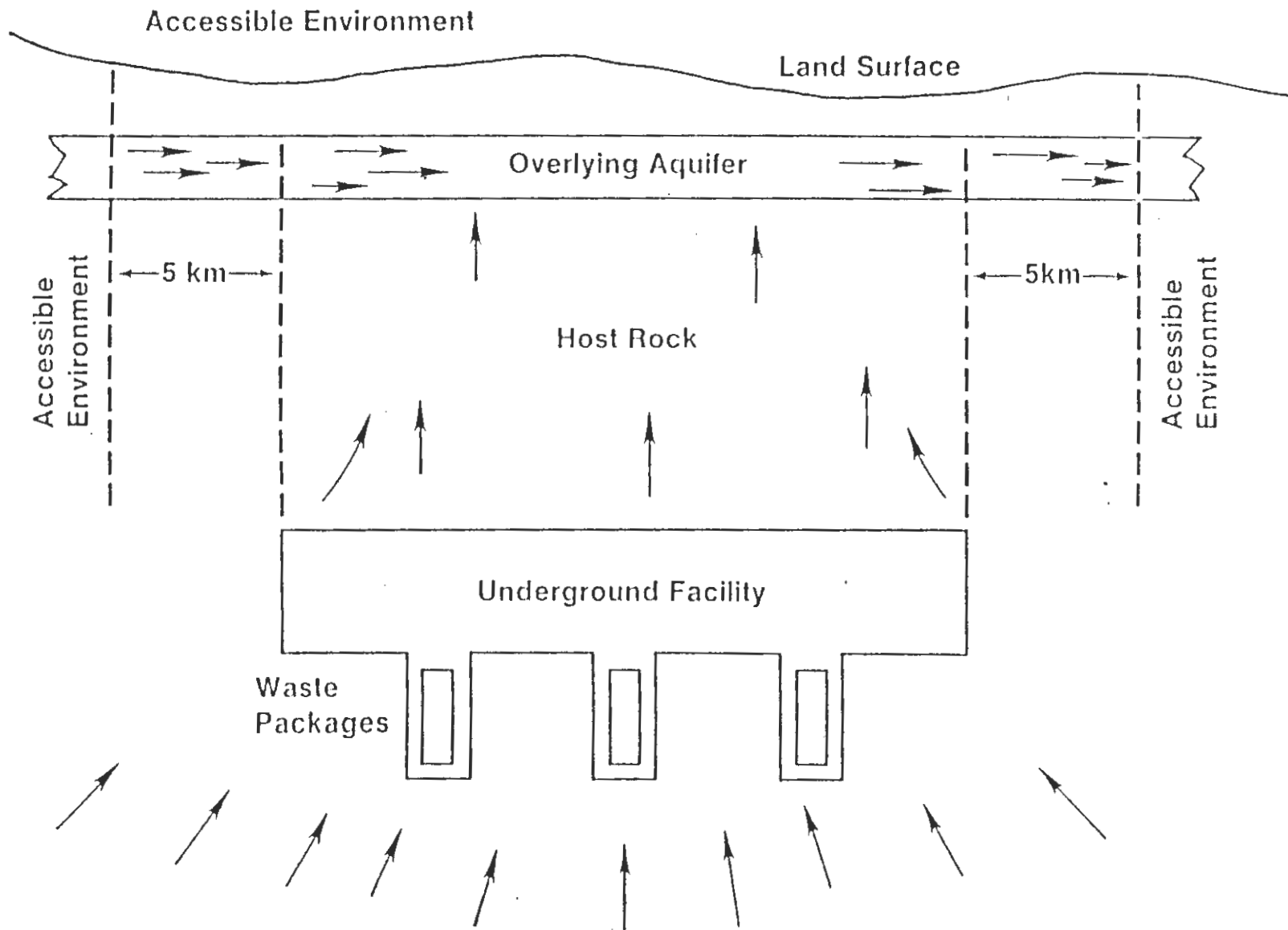




Tabelle 2:

## EPA Standard - Appendix A

### Release Limits for Containment Requirements

(Cumulative releases to the accessible environment  
for 10,000 years after disposal)

<u>Radionuclide</u>	Release limit per 1,000 MTHM or other unit of waste (curies)
Americium-241 or -243	100
Carbon-14	100
Cesium-135 or -137	1,000
Iodine-129	100
Neptunium-237	100
Plutonium-238, -239, -240, or -242	100
Radium-226	100
Strontium-90	1,000
Technetium-99	10,000
Thorium-230 or -232	10
Tin-126	1,000
Uranium-233, -234, -235, -236, or -238	100
Any other alpha-emitting radionuclide with a half-life greater than 20 years	100
Any other radionuclide with a half-life greater than 20 years that does not emit alpha particles	1,000

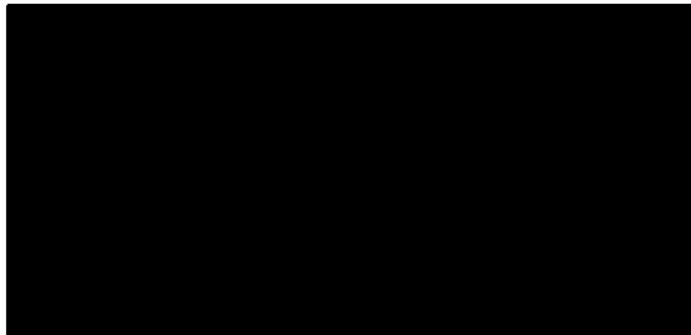
VERTEILER:

TÜV Hannover e.V.

(7 x)

GRS

Geschäftsführer  
Bereichsleiter  
Projektbetreuung  
Abteilung 501  
Autor



Gesamtauflage:

24 x