



Schutzziele für die Endlagerung
radioaktiver Abfälle

Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK)
Eidg. Kommission für die Sicherheit von Kernanlagen (KSA)

zu beziehen bei: Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK)
CH-5232 Villigen-HSK/Schweiz

Verteiler

HSK: Direktion, Abteilungsleiter, Sektionschefs, Anlagekoordinatoren, F+I,
 Administrationsdienst

KSA: Sekretariat, Mitglieder, Experten

BEW: Direktion BEW, Sektion NS, Rechtsdienst

Anlagen: KKB (30), KKM (32), KKG (7), KKL (3), PSI (4), ZWILAG (3)

Firmen: NOK Baden, COLENCO Baden, ABB Baden, EWI Zürich,
 Gebr. SULZER Winterthur, NAGRA Wettingen (10 Ex.), GNW
 B&H Zürich, E+B Bern, MBT Zürich

Bund: BAG, BUWAL (je 3 Ex.)

Kommissionen: AGNEB, KNE (je alle Mitglieder)

bearbeitende Sektion: SERA alle Mitarbeiter

Inhalt

1	Zielsetzung	Seite 1
2	Gesetzliche Grundlagen	1
3	Umfang	1
4	Ziel der Endlagerung	2
5	Prinzipien der Endlagerung	2
6	Sicherheitsanforderungen	3
7	Hinweise und Erläuterungen zum Sicherheitsnachweis	4
	7.1 Voraussagende Modellierung	4
	7.2 Prognosen in die ferne Zukunft	5
	7.3 Standortwahl und -erkundung	5
	7.4 Vorgänge und Ereignisse	5
	7.5 Betroffene Bevölkerungsgruppe	6
	7.6 Rechenannahmen und -modelle	6
	7.7 Sicherheitssteigernde Massnahmen	7
8	Definitionen	8

Diese Richtlinie ist auch in französischer und englischer Übersetzung erschienen:
HSK-R-21/f "Objectifs de protection pour le stockage final de déchets radioactifs"
HSK-R-21/e "Protection Objectives for the Final Disposal of Radioactive Waste"

Ersatz für Ausgabe vom Oktober 1980 (Neudruck Januar 1993)

1 Zielsetzung

Die Richtlinien der schweizerischen Sicherheitsbehörden legen dar, wie diese ihre gesetzlichen Aufträge konkretisieren wollen. Den Projektanten und Betreibern von Kernanlagen soll damit aufgezeigt werden, nach welchen Kriterien die zuständigen Behörden die Gesuche beurteilen und die Aufsicht durchführen.

2 Gesetzliche Grundlagen

Gemäss der Verordnung vom 14. März 1983 betreffend die Aufsicht über Kernanlagen ist die Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) des Bundesamtes für Energiewirtschaft (BEW) Aufsichtsbehörde in bezug auf die nukleare Sicherheit und den Strahlenschutz von Kernanlagen. Unter anderem obliegt ihr die Aufgabe, Gutachten über Projekte von Kernanlagen, darunter auch Endlagerprojekte, zuhanden der Bewilligungsbehörde zu erstellen. Gemäss der Verordnung über die Eidgenössische Kommission für die Sicherheit von Kernanlagen (KSA), ebenfalls vom 14. März 1983, hat diese Kommission die Aufgabe, solche Projekte zu verfolgen sowie zu den Bewilligungsgesuchen und Gutachten Stellung zu nehmen.

Bei ihren Begutachtungen und Stellungnahmen stützen sich HSK und KSA auf die einschlägigen Bestimmungen des Atom- (AtG) und Strahlenschutzgesetzes (StSG) sowie auf die zugehörigen Verordnungen (AtV und STRAVO).

3 Umfang

Die Bestimmungen der vorliegenden Richtlinie gelten für alle Methoden der geologischen Endlagerung in der Schweiz und für alle Kategorien von endzulagernden radioaktiven Abfällen. Sie beziehen sich allein auf die Langzeitsicherheit nach dem Verschluss eines Endlagers. Die Kriterien, nach welchen die zuständigen Behörden die Sicherheit eines Endlagers in der Betriebsphase beurteilen, werden anderweitig festgelegt.

Die vorliegende Richtlinie legt zunächst das Ziel und die Prinzipien dar, die bei der Endlagerung von radioaktiven Abfällen gelten.

Die Richtlinie legt ferner in Form von Schutzziele die Anforderungen im Hinblick auf die radiologische Sicherheit eines Endlagers fest, die von unterbreiteten Projekten zu erfüllen sind. Im Bewilligungsverfahren für ein Endlager muss der Gesuchsteller im Rahmen eines Sicherheitsnachweises aufzeigen, dass sein Projekt den spezifizierten Anforderungen genügt.

Es werden schliesslich Hinweise und Erläuterungen zum geforderten Sicherheitsnachweis gegeben.

4 Ziel der Endlagerung

Das Ziel der Endlagerung ist, radioaktive Abfälle in einer solchen Art zu beseitigen, dass

- der Schutz von Mensch und Umwelt vor der ionisierenden Strahlung aus diesen Abfällen dauernd gewährleistet ist,
- künftigen Generationen keine unzumutbaren Lasten und Verpflichtungen auferlegt werden.

5 Prinzipien der Endlagerung

Um das obige Ziel zu erreichen, sind bei der Endlagerung folgende Prinzipien zu beachten:

Prinzip 1: *Die Endlagerung radioaktiver Abfälle darf nur eine geringe zusätzliche Strahlenexposition der Bevölkerung zur Folge haben.*

Ein absoluter Einschluss aller radioaktiven Abfälle über unbegrenzte Zeiten ist nicht möglich. Ein Endlagersystem ist deshalb an einem geeigneten Standort so zu erstellen, dass die im Laufe der Zeit stattfindende Freisetzung von Radionukliden in die Biosphäre nur geringfügig und in sehr niedriger Konzentration erfolgen kann. Die daraus entstehende zusätzliche Strahlenexposition der Bevölkerung darf eine tief angesetzte Limite (Bruchteil der natürlichen Strahlenexposition) nicht übersteigen.

Prinzip 2: *Bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle ist der Schutz der Umwelt so zu gewährleisten, dass die Artenvielfalt nicht gefährdet und die Nutzung von Bodenschätzen nicht unnötig eingeschränkt wird.*

Der Mensch ist einer der strahlenempfindlichsten Organismen. Wenn der Mensch als Individuum vor radioaktiver Strahlung geschützt ist, kann angenommen werden, dass auch andere Spezies in ihrer Art geschützt werden. Die Präsenz von Menschen ist in Sicherheitsanalysen von Endlagern vorauszusetzen. Um Ressourcen zu schonen sind ferner bei der Standortwahl potentielle Rohstoffgebiete nach Möglichkeit zu meiden.

Prinzip 3: *Die Risiken für Mensch und Umwelt aus der Endlagerung radioaktiver Abfälle in der Schweiz dürfen auch im Ausland und in Zukunft nicht höher sein, als sie in der Schweiz heute zulässig sind.*

Aus der Endlagerung radioaktiver Abfälle in der Schweiz können radiologische Konsequenzen in ferner Zukunft und ausserhalb der heutigen Landesgrenzen entstehen. Für solche Auswirkungen der Endlagerung gelten die gleichen Begrenzungen wie heute in der Schweiz.

Prinzip 4: *Die Langzeitsicherheit eines Endlagers ist durch gestaffelte passive Sicherheitsbarrieren zu gewährleisten.*

Die Begrenzung der Freisetzung von Radionukliden aus einem Endlager in die Biosphäre soll durch passive Sicherheitsbarrieren erreicht werden und darf nicht auf nachträglicher Überwachung und Instandhaltung des Endlagersystems beruhen. Es sollen verschiedenartige technische und natürliche Barrieren vorgesehen werden, die gestaffelt zum Einschluss und zur Rückhaltung der Radionuklide beitragen (Mehrbarrierenkonzept).

Prinzip 5: *Allfällige Vorkehrungen zur Erleichterung von Überwachung und Reparaturen eines Endlagers oder Rückholung der Abfälle dürfen die passiven Sicherheitsbarrieren nicht beeinträchtigen.*

Soweit es mit den Anforderungen an die Sicherheit vereinbar ist, sollen nachträgliche Eingriffe in das Endlagersystem nicht behindert werden. Die Rückholbarkeit endgelagerter Abfälle ist bei den heutigen Endlagerkonzepten im Prinzip gegeben, auch wenn die Rückholung mit einem erheblichen Aufwand verknüpft ist. Massnahmen, die zur erleichterten Rückholung der Abfälle oder zur Überwachung und Reparatur des Endlagers dienen, dürfen nicht auf Kosten der passiven Sicherheit gehen.

Prinzip 6: *Die Vorsorge für die Endlagerung der radioaktiven Abfälle ist eine Aufgabe, die der heutigen nutzniessenden Gesellschaft zukommt und die nicht auf künftige Generationen überwältzt werden darf.*

Grundsätzlich sind Zivilisationsprobleme durch die Gesellschaft zu lösen, welche sie geschaffen hat. Damit besteht die Verpflichtung, die Abklärungen für die Endlagerung der heute anfallenden radioaktiven Abfälle auch heute durchzuführen. Die effektive Realisierung kann sich aus sicherheitstechnischen oder andern Gründen verzögern, soll aber zum frühesten geeigneten Zeitpunkt erfolgen.

6 Sicherheitsanforderungen

Die Prinzipien werden im Hinblick auf das Ziel der Endlagerung radioaktiver Abfälle in konkrete Sicherheitsanforderungen umgesetzt. Aus den Prinzipien 1, 2 und 3, welche die Langzeitsicherheit eines Endlagers betreffen, werden die untenstehenden Schutzziele 1 und 2 abgeleitet. Das Schutzziel 1 bezieht sich auf die mutmassliche Entwicklung des Endlagersystems unter Einwirkung realistischerweise anzunehmender Vorgänge und Ereignisse. In Ergänzung dazu bezieht sich das Schutzziel 2 auf Vorgänge und Ereignisse, deren Eintreten eine geringe Wahrscheinlichkeit hat. Schliesslich ist das Schutzziel 3 die Umsetzung der Prinzipien 4, 5 und 6, welche die Übertragung unzumutbarer Lasten und Verpflichtungen auf künftige Generationen verbieten.

Schutzziel 1

Die Freisetzung von Radionukliden aus einem verschlossenen Endlager infolge realistischerweise anzunehmender Vorgänge und Ereignisse soll zu keiner Zeit zu jährlichen Individualdosen führen, die 0,1 mSv überschreiten.

Schutzziel 2

Das aus einem verschlossenen Endlager infolge unwahrscheinlicher, unter Schutzziel 1 nicht berücksichtigter Vorgänge und Ereignisse zu erwartende radiologische Todesfallrisiko für eine Einzelperson soll zu keiner Zeit ein Millionstel pro Jahr übersteigen.

Schutzziel 3

Nach dem Verschluss eines Endlagers sollen keine weiteren Massnahmen zur Gewährleistung der Sicherheit erforderlich sein. Das Endlager soll innert einiger Jahre verschlossen werden können.

7 Hinweise und Erläuterungen zum Sicherheitsnachweis

7.1 Voraussagende Modellierung

Die Langzeitsicherheit eines Endlagers kann im strikten Sinne nicht bewiesen werden. Erst nachdem sämtliche im Abfall enthaltenen Radionuklide zerfallen sind, könnte rückwirkend der Nachweis erbracht werden, dass keine unzulässigen Auswirkungen aus dem Endlager entstanden sind. Der Sicherheitsnachweis beruht deshalb auf einer Modellierung zum Voraussagen des Endlagerverhaltens. In der Sicherheitsanalyse hat der Projektant darzulegen, wie sich das Endlagersystem im Laufe der Zeit entwickeln könnte, und nach bestem Wissen zu zeigen, dass die Schutzziele dabei erreicht werden.

Der Projektant hat zu jeder Stufe des Bewilligungsverfahrens (Rahmen-, Bau-, Betriebs- und schliesslich Verschlussbewilligung) eine Sicherheitsanalyse vorzulegen. Nach den ersten Erkundungen sind die sicherheitsrelevanten Kenntnisse über das Endlagersystem während des Baus und des Betriebs des Endlagers zu vervollständigen. Der laufenden Zunahme der Kenntnisse entsprechend ist die Sicherheitsanalyse für die Nachverschlussphase zu verfeinern.

7.2 Prognosen in die ferne Zukunft

Die Berechnung der potentiellen Konsequenzen aus einem verschlossenen Endlager muss den bei solchen Voraussagen unvermeidlichen Ungewissheiten Rechnung tragen. Diese Ungewissheiten nehmen mit zunehmender Zeitspanne der Prognose in die Zukunft zu. Die einzelnen Komponenten des Endlagersystems - technische Barrieren, Wirtgestein, umliegende geologische Schichten, Biosphäre - haben zudem eine unterschiedliche zeitliche Prognostizierbarkeit. Die Lebensgewohnheiten der Menschen zukünftiger Generationen sind auch ungewiss.

Unter diesen Umständen sind Dosisberechnungen für die ferne Zukunft nicht als effektive prognostizierte Strahlenexpositionen einer definierbaren Bevölkerungsgruppe zu verstehen. Es handelt sich dabei vielmehr um einen Indikator zur Bewertung der potentiellen Radionuklidfreisetzung in die Biosphäre. In diesem Sinne sind Dosis- und Risikoberechnungen auch für die ferne Zukunft durchzuführen, zumindest bis zu den maximalen potentiellen Konsequenzen aus dem Endlager, trotz den Ungewissheiten hinsichtlich des Zustandes der Biosphäre und der Existenz einer Bevölkerung. Zur Berechnung der Strahlendosis in ferner Zukunft sind begründete Referenzbiosphären anzunehmen und eine potentiell betroffene Bevölkerungsgruppe mit aus heutiger Sicht realistischen Lebensgewohnheiten zu postulieren. Die so ermittelten Strahlendosen und Risiken werden zur Beurteilung der Langzeitsicherheit mit den in den Schutzziele 1 und 2 festgelegten Limiten verglichen.

7.3 Standortwahl und -erkundung

Eine geeignete Standortwahl ist eine wesentliche Voraussetzung dafür, dass für ein geologisches Endlager die Sicherheit erreicht und der entsprechende Nachweis erbracht werden kann. Neben den Kriterien für die Langzeitsicherheit sind dabei auch solche für die Sicherheit der Bau- und Betriebsphase sowie raumplanerische Aspekte zu berücksichtigen. Hinsichtlich der Langzeitsicherheit sind die Anforderungen an die Standort- und Wirtgesteineigenschaften aus der Art der endzulagernden Abfälle abzuleiten. Im Hinblick auf den voraussagenden Sicherheitsnachweis sind räumlich und zeitlich gut prognostizierbare Verhältnisse zu bevorzugen.

Die Sicherheitsanalyse hat sich auf die Ergebnisse einer ausführlichen Standorterkundung abstützen. Der Umfang der Erkundung richtet sich nach der Prognostizierbarkeit der geologischen Eigenschaften des Standortes. Dabei ist jedoch darauf zu achten, dass die Qualität des Standortes durch die Erkundungstätigkeiten nicht signifikant beeinträchtigt wird.

7.4 Vorgänge und Ereignisse

Eine genaue Voraussage der Zukunft, besonders der fernen Zukunft, ist nicht möglich. Der Projektant hat aber anhand einer ausführlichen Analyse darzulegen, welche Vorgänge und Ereignisse auf das Endlagersystem im Laufe der Zeit einwirken könnten, und

daraus mögliche umhüllende Entwicklungen abzuleiten. Vorgänge und Ereignisse mit extremer Unwahrscheinlichkeit und solche, die bedeutend schwerwiegendere nicht-radiologische Konsequenzen haben, sowie absichtliche menschliche Eingriffe in das Endlagersystem brauchen in der Sicherheitsanalyse nicht betrachtet zu werden.

Bei den Szenarien, welche die mutmasslichen Varianten der Entwicklung des Endlagersystems umschreiben, gilt die im Schutzziel 1 spezifizierte jährliche Dosislimite von 0,1 mSv. Der Projektant kann zeigen, dass auch bei Einwirkung gewisser, in der mutmasslichen Entwicklung nicht berücksichtigter Vorgänge und Ereignisse die Dosislimite von Schutzziel 1 eingehalten wird. Für die übrigen zu betrachtenden Vorgänge und Ereignisse, insbesondere für solche, die zur Überschreitung der Dosislimite gemäss Schutzziel 1 führen würden, hat der Projektant das restliche Gesamtrisiko zu ermitteln. Dieses restliche Gesamtrisiko soll zu keiner Zeit die im Schutzziel 2 festgelegte Risikolimite von einem Millionstel pro Jahr übersteigen.

Die Dosislimite von 0,1 mSv gemäss Schutzziel 1 ist klein im Vergleich zur natürlichen Strahlenexposition und deren räumlichen Schwankungen. Mit dem von der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) empfohlenen Risikofaktor von 5% pro Sv entspricht eine jährliche Strahlendosis von 0,1 mSv einem radiologischen Todesfallrisiko von fünf Millionstel pro Jahr. Mit der Risikolimite von einem Millionstel pro Jahr gemäss Schutzziel 2 wird aus den unwahrscheinlichen Vorgängen und Ereignissen eine zusätzliche, nur leichte Erhöhung des radiologischen Risikos zugelassen.

7.5 Betroffene Bevölkerungsgruppe

Die Dosislimite des Schutzzieles 1 bezieht sich auf die Strahlenexposition eines durchschnittlichen Individuums innerhalb der von den potentiellen Auswirkungen aus einem Endlager meist betroffenen Bevölkerungsgruppe. Im Sinne dieser Richtlinie handelt es sich um eine begrenzte Personenzahl.

Sollten sich aus einem Szenarium überregionale Auswirkungen ergeben, die eine sehr grosse Bevölkerung betreffen, behalten sich die Sicherheitsbehörden vor, die zulässige Dosis tiefer als die Limite von Schutzziel 1 anzusetzen. Wenn umgekehrt bei einem speziellen Szenarium nur sehr wenige Personen betroffen werden, behalten sich die Sicherheitsbehörden ebenfalls vor, ein Endlagerprojekt gutzuheissen, auch wenn die dabei errechnete maximale Individualdosis die Limite von Schutzziel 1 mässig übersteigt. Analoge Vorbehalte gelten auch bezüglich der im Schutzziel 2 festgelegten Risikolimite.

7.6 Rechenannahmen und -modelle

Bei der Berechnung der Dosis oder des Risikos hat der Projektant die möglichen Schwankungsbreiten der relevanten Daten anzugeben. Er hat ferner den daraus folgenden Schwankungsbereich der Resultate darzulegen. Wo Ungewissheiten bestehen, sind konservative Rechenannahmen zu treffen. Zudem sind die Ungewissheiten abzuschätzen, die zurückzuführen sind auf die nicht lückenlose Erfassung der Eigenschaften der

Endlagerbarrieren und auf die unvollständige Kenntnis oder vereinfachte Modellierung der Freisetzungs- und Ausbreitungsmechanismen.

Jedes Rechenmodell, das für die Sicherheitsanalyse verwendet wird, muss verifiziert sein. Es ist ferner zu zeigen, dass die verwendeten Rechenmodelle einzeln und gesamthaft für das spezifische Endlagersystem anwendbar sind (Validierung).

7.7 Sicherheitssteigernde Massnahmen

Auch wenn die in den Schutzzielen 1 und 2 festgelegten Limiten eingehalten werden, sind die radiologischen Auswirkungen aus dem Endlager mit geeigneten Massnahmen so weit zu reduzieren, als dies nach dem Stand von Wissenschaft und Technik möglich und zumutbar ist. Angesichts der Ungewissheiten bei der Ermittlung der potentiellen Strahlenexposition ist jedoch kein quantitatives Optimierungsverfahren erforderlich.

Da gemäss Schutzziel 3 nach dem Verschluss eines Endlagers keine weiteren Massnahmen zur Gewährleistung der Sicherheit erforderlich sein dürfen, soll in der Sicherheitsanalyse angenommen werden, dass zukünftige Generationen keinerlei Massnahmen treffen werden, um sich vor einer Strahlenexposition durch die aus dem Endlager freigesetzten Radionuklide zu schützen. Der Projektant hat trotzdem Vorkehrungen zu treffen, um die Information über das Endlager - Lage, Auslegung und eingelagerte Abfälle - aufrecht zu erhalten. Dadurch soll die Wahrscheinlichkeit eines frühen unbeabsichtigten Eingriffs in das Endlagersystem vermindert werden.

Im Hinblick auf die allgemeine Anwendbarkeit wurden in dieser Richtlinie allein Schutzziele für das gesamte Endlagersystem festgelegt und keine spezifischen Anforderungen an die einzelnen Komponenten des Systems gestellt. Dies erlaubt, die Systemkomponenten an die von der Art der endzulagernden Abfälle gestellten Anforderungen anzupassen. Bei der Endlagerung hochaktiver Abfälle ist während der anfänglichen Phase (bis etwa 1'000 Jahre) ein besonders hohes Gefährdungspotential vorhanden. Während dieser Phase ist ein vollständiger Einschluss der Radionuklide im Endlager anzustreben.

8 Definitionen

Für die Zwecke dieser Richtlinie gelten folgende Definitionen:

Dosis Effektive Dosis als Summe der mit den Wichtungsfaktoren W_T gewichteten Äquivalentdosen in allen Organen und Geweben. Die Einheit der Dosis ist das Sievert (Sv).

$$E = \sum_T W_T H_T$$

wobei

E Effektive Dosis

W_T Wichtungsfaktor für Gewebe, Anteil am Gesamtrisiko für das Gewebe oder das Organ T

H_T Äquivalentdosis des Gewebes oder Organs T, Summe der mit den Strahlungs-Wichtungsfaktoren gewichteten absorbierten Dosen aus allen Strahlenarten

Endlagersystem: Gesamtheit der technischen und natürlichen Barrieren in und um ein Endlager bis hin zur Biosphäre.

Endlagerung: Wartungsfreie, zeitlich unbefristete Lagerung von radioaktiven Abfällen ohne beabsichtigte Rückholung.

Konservativ: Unwahrscheinlicher und zu ungünstigeren Konsequenzen führend als eine realistische Variante, aber noch vernünftigerweise annehmbar.

Langzeitsicherheit: Sicherheit eines Endlagers für Mensch und Umwelt nach dessen Verschluss.

Mehrbarrieren-konzept: Abstützung der Sicherheit eines Endlagers auf verschiedenartige technische und natürliche Barrieren zum Einschluss und zur Rückhaltung der im Abfall enthaltenen Radionuklide.

Risiko: Produkt aus einem potentiellen Gesundheitsschaden und der Häufigkeit, mit der dieser Schaden eintritt. Auch Summe solcher Produkte.

Szenarium: Mögliche Entwicklung eines Endlagersystems unter Einwirkung von angenommenen Vorgängen und Ereignissen.

- Validierung:** Erbringen der Zuversicht, dass ein in der Sicherheitsanalyse verwendetes Rechenmodell für das spezifische Endlagersystem anwendbar ist.
- Verifizierung:** Nachweis, dass ein verwendetes Rechenmodell fehlerfrei arbeitet.
- Verschluss:** Endgültiges Abschliessen eines Endlagers einschliesslich des Verfüllens der Hohlräume.
- Wirtgestein:** Gesteinskörper, in welchem ein Endlager erstellt wird.