



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI  
Inspection fédérale de la sécurité nucléaire IFSN  
Ispettorato federale della sicurezza nucleare IFSN  
Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate ENSI



## Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis

Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen

**ENSI-G03**



# **Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis**

Ausgabe April 2009

**Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen**

**G03/d**



# Inhalt:

Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen

ENSI-G03/d

|                  |   |           |
|------------------|---|-----------|
| <b>1</b>         | <b>Einleitung</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2</b>         | <b>Gegenstand und Geltungsbereich</b>   | <b>1</b>  |
| <b>3</b>         | <b>Rechtliche Grundlagen</b>  | <b>1</b>  |
| <b>4</b>         | <b>Schutzziel und Schutzkriterien</b>   | <b>2</b>  |
| 4.1              | Schutzziel der geologischen Tiefenlagerung  | 2         |
| 4.2              | Leitsätze zur Umsetzung des Schutzziels   | 2         |
| 4.3              | Schutzkriterien   | 3         |
| <b>5</b>         | <b>Auslegung, Betrieb und Verschluss</b>  | <b>4</b>  |
| 5.1              | Auslegung eines geologischen Tiefenlagers und dessen Oberflächenanlagen   | 4         |
| 5.2              | Betrieb eines geologischen Tiefenlagers   | 7         |
| 5.3              | Verschluss und Markierung eines geologischen Tiefenlagers   | 9         |
| <b>6</b>         | <b>Optimierung, Qualitätsmanagement und Dokumentation</b>   | <b>10</b> |
| 6.1              | Optimierung der Betriebsphase und der Langzeitsicherheit eines geologischen Tiefenlagers  | 10        |
| 6.2              | Qualitätsmanagement   | 11        |
| 6.3              | Dokumentation   | 11        |
| <b>7</b>         | <b>Nachweis der Sicherheit eines geologischen Tiefenlagers</b>  | <b>12</b> |
| 7.1              | Sicherheitsnachweis für die Betriebsphase   | 12        |
| 7.2              | Sicherheitsnachweis für die Nachverschlussphase   | 13        |
| <b>8</b>         | <b>Sicherungsnachweis</b>   | <b>16</b> |
| <b>Anhang 1:</b> | <b>Begriffsbestimmungen</b>   | <b>17</b> |
| <b>Anhang 2:</b> | <b>Vereinfachte schematische Darstellung der Abläufe bei Projektierung, Bau, Betrieb und Verschluss eines geologischen Tiefenlagers</b> | <b>21</b> |



# 1 Einleitung

Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) ist die Aufsichtsbehörde über die nukleare Sicherheit und Sicherung der Kernanlagen in der Schweiz. In seiner Eigenschaft als Aufsichtsbehörde oder gestützt auf einen Auftrag in einer Verordnung erlässt es Richtlinien. Richtlinien sind Vollzugshilfen, die rechtliche Anforderungen konkretisieren und eine einheitliche Vollzugspraxis erleichtern. Sie konkretisieren zudem den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik. Das ENSI kann im Einzelfall Abweichungen zulassen, wenn die vorgeschlagene Lösung in Bezug auf die nukleare Sicherheit und Sicherung mindestens gleichwertig ist.

## 2 Gegenstand und Geltungsbereich

Diese Richtlinie gilt für geologische Tiefenlager gemäss Art. 3 des Kernenergiegesetzes (KEG) vom 21. März 2003, SR 732.1. Sie legt das Schutzziel und die Schutzkriterien sowie Anforderungen an ein geologisches Tiefenlager fest und trifft Festlegungen bezüglich des Vorgehens zum Nachweis der Sicherheit eines geologischen Tiefenlagers. Sie definiert wichtige Begriffe zur geologischen Tiefenlagerung (Anhang 1), soweit diese nicht bereits durch das KEG definiert sind. Es werden Anforderungen an den Betrieb der Anlagen gestellt, insofern diese für geologische Tiefenlager und deren Verschluss spezifisch sind. Wo anwendbar, gelten für den Bau und den Betrieb auch die Regelungen anderer Richtlinien der Aufsichtsbehörde.

Diese Richtlinie betrifft die radiologische Sicherheit geologischer Tiefenlager. Die Anforderungen bezüglich der Freisetzung chemisch toxischer Stoffe aus einem geologischen Tiefenlager werden in der Umweltschutzgesetzgebung geregelt. Anforderungen, die sich bezüglich Sicherung und Kontrolle spaltbarer Materialien ergeben, werden in der Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und Sicherungsmassnahmen für Kernanlagen und Kernmaterialien vom 16. April 2008, SR 732.112.1, geregelt und hier beschränkt auf deren Relevanz bezüglich Betriebs- und Langzeitsicherheit behandelt.

Der Erläuterungsbericht zur Richtlinie G03 beinhaltet Erklärungen und Beispiele zu den gestellten Anforderungen.

## 3 Rechtliche Grundlagen

Die Richtlinie stützt sich auf Art. 11 Abs. 3 der Kernenergieverordnung (KEV) vom 10. Dezember 2004, SR 732.11, in welchem das ENSI aufgefordert wird, die für geologische Tiefenlager spezifischen Auslegungsgrundsätze in Richtlinien zu regeln. Die gesetzlichen An-

forderungen sind in KEG und KEV geregelt. Besondere Bestimmungen für geologische Tiefenlager sind in Art. 37 bis Art. 41 KEG und Art. 62 bis Art. 72 KEV enthalten.

Bestimmungen aus Gesetzen und Verordnungen werden in dieser Richtlinie nur ausnahmsweise zitiert, wenn es im Sinne des Gesamtverständnisses sinnvoll erscheint.

## **4 Schutzziel und Schutzkriterien**

### **4.1 Schutzziel der geologischen Tiefenlagerung**

Mit der geologischen Tiefenlagerung sind radioaktive Abfälle so zu entsorgen, dass der Schutz von Mensch und Umwelt vor deren ionisierender Strahlung dauernd gewährleistet ist, ohne dass künftigen Generationen unzumutbare Lasten und Verpflichtungen auferlegt werden.

### **4.2 Leitsätze zur Umsetzung des Schutzziels**

Bei der geologischen Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle sind die nachfolgend aufgeführten Leitsätze zu berücksichtigen. Der Vollständigkeit halber werden auch diejenigen Leitsätze hier erwähnt, die bereits in Art. 11 Abs. 2 KEV festgelegt sind.

- a. *Schutz des Menschen:* Die geologische Tiefenlagerung darf nur eine geringe zusätzliche Strahlenexposition von Einzelpersonen der Bevölkerung zur Folge haben.
- b. *Schutz der Umwelt:* Die Umwelt als natürliche Lebensgrundlage des Menschen und anderer Lebewesen ist zu schützen (Art. 1 KEG). Die Artenvielfalt darf durch die geologische Tiefenlagerung nicht gefährdet werden.
- c. *Grenzüberschreitender Schutz:* Die Risiken aus der geologischen Tiefenlagerung in der Schweiz dürfen im Ausland nicht grösser sein als sie in der Schweiz zulässig sind.
- d. *Zukünftiger Schutz:* Die Risiken, die in der Zukunft aus der geologischen Tiefenlagerung in der Schweiz entstehen, dürfen nicht grösser sein als sie heute in der Schweiz zulässig sind.
- e. *Langzeitsicherheit:* Ein geologisches Tiefenlager ist so auszulegen, dass nach dessen Verschluss keine weiteren Massnahmen zur Gewährleistung der Langzeitsicherheit erforderlich sind.
- f. *Sicherheitsbarrieren:* Die Langzeitsicherheit eines geologischen Tiefenlagers ist durch gestaffelte, passiv wirkende, technische und natürliche Barrieren (Mehrfachbarrierensystem, Art. 11, Abs. 2 Bst. b KEV) zu gewährleisten.



- g. *Überwachung und Rückholung*: Allfällige Vorkehrungen zur Erleichterung von Überwachung und Unterhalt eines geologischen Tiefenlagers oder zur Rückholung der Abfälle dürfen die passiven Sicherheitsbarrieren des Lagers nicht beeinträchtigen (Art. 11 Abs. 2 Bst. c KEV).
- h. *Lastenfreiheit*: Die Vorsorge für die geologische Tiefenlagerung ist eine Aufgabe, die der nutzniessenden Gesellschaft zukommt. Zukünftigen Generationen dürfen keine unzumutbaren Lasten auferlegt werden.
- i. *Bodenschätze*: Die absehbare zukünftige Nutzung von Bodenschätzen darf durch ein geologisches Tiefenlager nicht unnötig eingeschränkt werden.
- k. *Optimierung*: Bei Entscheiden im Rahmen der Projektierung, des Baus und Betriebs (inklusive des Verschlusses) eines geologischen Tiefenlagers sind Alternativen im Hinblick auf die Optimierung der Betriebs- und Langzeitsicherheit abzuwägen.

### 4.3 Schutzkriterien

Das Erreichen des Schutzziels unter Beachtung der Leitsätze ist anhand quantitativer Schutzkriterien zu beurteilen. Das Einhalten der Schutzkriterien ist im Rahmen des Sicherheitsnachweises aufzuzeigen.

#### 4.3.1 Schutzkriterien für die Betriebsphase eines geologischen Tiefenlagers und dessen Oberflächenanlagen

Für die Betriebsphase eines geologischen Tiefenlagers und dessen Oberflächenanlagen gelten die Anforderungen der Strahlenschutzverordnung (StSV) vom 22. Juni 1994, SR 814.501. Die radiologischen Schutzkriterien für den Normalbetrieb sind in der Richtlinie HSK-R-11, „Strahlenschutzziele im Normalbetrieb für Kernanlagen“, weiter konkretisiert. Für die Oberflächenanlagen gelten insbesondere die Schutzziele 1 bis 3 der Richtlinie HSK-R-29, „Anforderungen an die Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle“.

#### 4.3.2 Schutzkriterien für die Nachverschlussphase

Die realistischerweise möglichen Varianten der zukünftigen Entwicklung eines verschlossenen geologischen Tiefenlagers sind in wahrscheinliche und wenig wahrscheinliche zu unterteilen, und die gewählte Unterteilung ist darzulegen.

Schutzkriterium 1: Für jede als wahrscheinlich eingestufte zukünftige Entwicklung darf die Freisetzung von Radionukliden zu keiner Individualdosis führen, die 0.1 mSv pro Jahr überschreitet.

Schutzkriterium 2: Die als wenig wahrscheinlich eingestufteten, unter Schutzkriterium 1 nicht betrachteten, zukünftigen Entwicklungen dürfen zusammen kein zusätzliches radiologisches Gesundheitsrisiko einer Einzelperson darstellen, das grösser als ein Millionstel pro Jahr ist.

## 5 Auslegung, Betrieb und Verschluss

Die in KEG und KEV verwendeten Phasen und Bewilligungsschritte zu Projektierung, Bau, Betrieb und Verschluss eines geologischen Tiefenlagers werden in Anhang 2 schematisch aufgezeigt. Die Betriebsphase eines geologischen Tiefenlagers umfasst den Einlagerungsbetrieb, die Beobachtungsphase und den Verschluss. Die Verschlussarbeiten beginnen nach deren Anordnung durch den Bundesrat und enden mit dem ordnungsgemässen Verschluss. Danach kann der Bundesrat gemäss Art. 39, Abs. 3 KEG eine weitere, befristete Überwachung anordnen. Nach ordnungsgemässigem Verschluss oder nach Ablauf der Überwachungsfrist wird ein geologisches Tiefenlager durch eine Feststellungsverfügung aus der Kernenergiegesetzgebung entlassen (Art. 39 Abs. 4 KEG).

### 5.1 Auslegung eines geologischen Tiefenlagers und dessen Oberflächenanlagen

Ein geologisches Tiefenlager umfasst das Hauptlager, das Pilotlager und die Testbereiche (Art. 64 KEV) sowie die erforderlichen unterirdischen Zugangsbauwerke. Ein geologisches Tiefenlager und dessen Oberflächenanlagen sind auf die Umsetzung der Leitsätze zur Erreichung des Schutzziels und die Einhaltung der Schutzkriterien auszulegen. Es gelten die in der Kernenergiegesetzgebung festgehaltenen Grundsätze der nuklearen Sicherheit und Sicherung.

#### 5.1.1 Generelle Anforderungen

- a. Durch administrative und technische Massnahmen ist sicherzustellen, dass weder in der Betriebsphase (Normalbetrieb oder Störfall) noch nach dem Verschluss nukleare Kritikalität eintreten kann.
- b. Es ist vorzusehen, dass die Räumlichkeiten, die Abluft und die Abwässer während der Betriebsphase radiologisch überwacht werden.
- c. Es ist vorzusehen, dass Abfälle und Abwässer aus dem geologischen Tiefenlager, die während des Normalbetriebs oder als Folge von Störfällen oder bei deren Behebung anfallen, über ein geeignetes System gesammelt und kontrolliert entsorgt werden.
- d. Die während der Betriebsphase zugänglichen Räumlichkeiten sind so zu bemessen, dass die erforderliche Bewegungsfreiheit für den operationellen Strahlenschutz gewährleistet ist. Die Erfordernisse des Zonenbetriebs gemäss Richtlinie HSK-R-07, „Richtlinie für den überwachten Bereich der Kernanlagen und des Paul Scherrer Instituts“, sind sinngemäss zu berücksichtigen. Durch die Auslegung der Anlagenteile im Hinblick auf geeignete feste oder bewegliche Abschirmungen ist die erwartete Ortsdosisleistung in routinemässig begangenen Räumlichkeiten niedrig zu halten.
- e. Im Hinblick auf den baulichen, technischen und organisatorischen Brandschutz sind neben den kantonalen Vorgaben zum Brandschutz auch die

Anforderungen der Richtlinie HSK-R-50, „Sicherheitstechnische Anforderungen an den Brandschutz in Kernanlagen“, zu beachten. Die Massnahmen zum Brandschutz dürfen die Langzeitsicherheit nicht beeinträchtigen.

- f. Bei der Auslegung sind die Anlagen gemäss Anhang 4 KEV sicherheitstechnisch zu klassieren und der Klassierung entsprechend auszulegen.

### **5.1.2 Anforderungen an die Oberflächenanlagen und oberflächennahen Zugangsbauwerke**

- a. Für die Oberflächenanlagen und oberflächennahen Zugangsbauwerke zum geologischen Tiefenlager gelten, wo anwendbar, die Anforderungen der HSK-R-29.
- b. Die Oberflächenanlagen und die oberflächennahen Zugangsbauwerke sind so auszulegen, dass ein Wassereintrich von der Oberfläche her in das geologische Tiefenlager verhindert wird.

### **5.1.3 Anforderungen an die unterirdischen Bauwerke**

- a. Die unterirdischen Bauwerke sind so zu gestalten und zu unterhalten, dass deren sicherer Betrieb bis zum ordnungsgemässen Verschluss des Lagers gewährleistet ist. Die Stabilität der unterirdischen Bauwerke ist zu überwachen.
- b. Bei der Auslegung eines geologischen Tiefenlagers ist auf den thermischen Eintrag wärmeproduzierender Abfälle und dessen Verträglichkeit mit den technischen und natürlichen Barrieren zu achten.
- c. Bei der Auslegung der Lagereinbauten, einschliesslich der technischen Barrieren, ist auf die physikalische und chemische Verträglichkeit mit den Abfällen und mit der natürlichen Barriere zu achten.
- d. Durch die Auslegung der unterirdischen Anlagen ist eine angemessene räumliche und lüftungstechnische Trennung von Bereichen zu ermöglichen, in denen mit radioaktiven Abfällen umgegangen wird, und solchen, in denen gleichzeitig eine Erweiterung des Einlagerungsbereichs stattfindet. Diese Erweiterung darf die Betriebs- und Langzeitsicherheit des geologischen Tiefenlagers nicht gefährden.
- e. Die Zugangs- und unterirdischen Bauwerke sind so zu dimensionieren, dass sie den Erfordernissen des Normalbetriebs und der Störfallbewältigung entsprechen.
- f. Das Erstellen der unterirdischen Bauwerke muss so erfolgen, dass Wassereintriche möglichst vermieden werden. Können Wassereintriche nicht ausgeschlossen werden, sind betriebliche und allenfalls bauliche Massnahmen vorzusehen, um die Betriebs- und Langzeitsicherheit des geologischen Tiefenlagers sicherzustellen.

#### **5.1.4 Rückholung ohne grossen Aufwand**

Bis zu einem allfälligen Verschluss des Lagers muss die Rückholung der radioaktiven Abfälle ohne grossen Aufwand möglich sein (Art. 37 KEG). Deshalb sind die Lagercontainer bezüglich mechanischer Beständigkeit so auszulegen, dass sie mindestens bis zum Ende der Beobachtungsphase ohne grossen Aufwand rückgeholt werden können. Massnahmen, die zur Sicherstellung der Rückholung getroffen werden, dürfen die passiven Sicherheitsbarrieren und damit die Langzeitsicherheit nicht beeinträchtigen (Art. 11 Abs. 2c KEG).

Das Konzept für eine allfällige Rückholung der Abfälle ist mit dem Baubewilligungsgesuch für das geologische Tiefenlager dem ENSI zur Prüfung und Genehmigung vorzulegen. Im Rückholungskonzept sind die zu erwartenden Strahlenexpositionen für das Personal und die Bevölkerung abzuschätzen.

#### **5.1.5 Pilotlager**

Im Pilotlager ist das Verhalten der Abfälle, der Verfüllung und des Wirtgesteins bis zum Ablauf der Beobachtungsphase zu überwachen. Bei der Überwachung sind im Hinblick auf den Verschluss Daten zur Erhärtung des Sicherheitsnachweises zu ermitteln (Art. 66 Abs. 1 KEG).

Das Pilotlager ist gemäss Art. 66 Abs. 3 KEG auszulegen und mit den für die Überwachung notwendigen Instrumenten auszurüsten. Das Pilotlager kann aus einer oder mehreren Kavernen bzw. einem oder mehreren Stollenabschnitten bestehen. Störfälle im Pilotlager dürfen die Betriebs- und Langzeitsicherheit des Hauptlagers nicht beeinträchtigen und umgekehrt. Eine allfällige Umlagerung der Abfälle aus dem Pilotlager in das Hauptlager ist bei der Auslegung zu berücksichtigen.

#### **5.1.6 Temporärer Verschluss während der Betriebsphase**

Für den Fall einer ungünstigen Entwicklung der Rahmenbedingungen, welche die Sicherheit des Lagers oder einen ordnungsgemässen Verschluss in Frage stellen, sind technische und betriebliche Vorkehrungen für einen temporären Verschluss zu treffen, um die Einlagerungsbereiche eines geologischen Tiefenlagers während der Betriebsphase (Anhang 2) jederzeit rasch in einen passiv sicheren Zustand überführen zu können.

Der temporäre Verschluss ist in einem Konzept darzulegen, das zusammen mit dem Baubewilligungsgesuch einzureichen ist. Das Funktionieren der Vorkehrungen ist in den Testbereichen vor Einlagerung der Abfälle zu zeigen. Die Vorkehrungen dürfen die Langzeitsicherheit nicht beeinträchtigen.

#### **5.1.7 Sicherung und Kontrolle spaltbarer Materialien**

Für die Sicherung sind die erforderlichen administrativen, organisatorischen und baulichen Vorkehrungen vorzusehen. Dafür gelten die Bestimmungen gemäss Art. 9 KEG, der Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und Sicherungsmassnahmen für Kernanlagen und Kernmaterialien (SR 732.112.1), der Safeguardsverordnung (SR 732.12) und der

Richtlinie HSK-R-49, „Sicherheitstechnische Anforderungen an die Sicherung von Kernanlagen“.

Ein geologisches Tiefenlager ist so auszulegen, dass Kontrollen spaltbarer Materialien gemäss der Safeguardsverordnung möglich sind. Die Vorkehrungen zugunsten der Sicherung und der Kontrollen spaltbarer Materialien dürfen die Langzeitsicherheit eines geologischen Tiefenlagers nicht beeinträchtigen.

## **5.2 Betrieb eines geologischen Tiefenlagers**

### **5.2.1 Überwachung**

Die Umweltüberwachung eines geologischen Tiefenlagers muss so früh vor Inangriffnahme der Untertagebauten aufgenommen werden, dass für die Beweissicherung genügend aussagekräftige Daten zur Verfügung stehen. Sie muss bis zur Entlassung des geologischen Tiefenlagers aus der Kernenergiegesetzgebung fortgeführt werden. Sie umfasst die Überwachung der Radioaktivität von Quell- und Grundwasser, Böden, Gewässern und Atmosphäre im Einflussgebiet eines geologischen Tiefenlagers. Gleichzeitig sind die Schüttung und die chemische Zusammensetzung der Quellwässer zu Beweissicherungszwecken zu untersuchen.

Als Fortsetzung der untertägigen Standortcharakterisierung ist das geologische Umfeld der Untertagebauten des geologischen Tiefenlagers bis zum Verschluss zu überwachen. Die Überwachung hat insbesondere die hydrogeologischen Verhältnisse, die Wasserzusammensetzung, die für die Sicherheit relevanten Gesteinsparameter und die Geometrie der Hohlräume zu umfassen. Sie ergänzt die geologische und hydrogeologische Datenbasis für die Beurteilung der langfristigen Entwicklung des geologischen Tiefenlagers.

Für ein geologisches Tiefenlager und die dazugehörigen Oberflächenanlagen ist mittels geeigneter radiologischer Überwachungsmassnahmen die Einhaltung des quellenbezogenen Dosisrichtwertes nachzuweisen. Die Anforderungen der Richtlinie HSK-G14, „Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung aufgrund von Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen“, sind zu berücksichtigen. Die Überwachung ist bis zur Entlassung der Anlagen aus der Kernenergiegesetzgebung fortzusetzen.

Die Überwachung darf die passiven Sicherheitsbarrieren nicht beeinträchtigen. Die Überwachungsprogramme müssen periodisch auf ihre Eignung geprüft werden. Die Überwachungsprogramme und ihre Ergebnisse sind dem ENSI periodisch zur Prüfung vorzulegen.

### **5.2.2 Betrieb eines Pilotlagers**

Ein Pilotlager ist vor Beginn der Einlagerung der entsprechenden Abfälle ins Hauptlager zu beschicken und zu verfüllen.

Ein Pilotlager ist so zu betreiben, dass

- a. das Barrierensystem des Hauptlagers adäquat wiedergegeben wird und

- b. die Auswahl der Abfallgebinde für das Inventar des Hauptlagers repräsentativ ist.

Das Überwachungsprogramm eines Pilotlagers muss Messungen zur zeitlichen Entwicklung eines Pilotlagers und seines geologischen Umfeldes vorsehen, so dass Aussagen möglich sind

- a. über die sicherheitsrelevanten Zustände und Vorgänge in einem Pilotlager und in dessen geologischem Umfeld;
- b. über die frühzeitige Erkennung unerwarteter Entwicklungen;
- c. über die Wirksamkeit des Barrierensystems;
- d. zur Erhärtung des Sicherheitsnachweises.

Die Aussagen müssen auf die Verhältnisse im Hauptlager und in dessen geologischem Umfeld übertragbar sein.

Das Überwachungsprogramm für das Pilotlager muss periodisch auf seine Eignung geprüft werden. Das Überwachungsprogramm und die Ergebnisse der Überwachung sind dem ENSI periodisch zur Prüfung vorzulegen.

Falls der Zustand der Sicherheitsbarrieren des Pilotlagers am Ende der Beobachtungsphase aufgrund unvorhergesehener Vorgänge oder infolge geplanter Eingriffe den Voraussetzungen des Sicherheitsnachweises nicht mehr genügt und eine zielführende Instandsetzung nicht möglich ist, sind die Abfälle aus dem Pilotlager in das Hauptlager umzulagern.

### **5.2.3 Untersuchungen in unterirdischen Testbereichen**

Nach Vorgabe von Art. 65 KEV sind in Testbereichen eines geologischen Tiefenlagers die sicherheitsrelevanten Eigenschaften des Wirtgesteins vertieft abzuklären, die sicherheitsrelevanten Techniken zum Einbringen des Verfüllmaterials (oder dessen Entfernung zwecks allfälliger Rückholung), zur Rückholung von Abfallgebinden sowie die Versiegelung von Kavernen und Stollen zu erproben und deren Funktionstüchtigkeit nachzuweisen.

Die Untersuchungen in den Testbereichen sind so durchzuführen, dass sie die Langzeitsicherheit des gesamten geologischen Tiefenlagers nicht beeinträchtigen.

### **5.2.4 Einlagerung**

Für die Entgegennahme von Abfallgebinden zur Einlagerung in ein geologisches Tiefenlager hat der Eigentümer Annahmebedingungen zu erlassen. Abfallgebinde dürfen nur dann angenommen werden, wenn ihr chemisches und radiologisches Inventar mit den entsprechenden Voraussetzungen des Sicherheitsnachweises verträglich ist.

Die für die Einlagerung von Abfallgebinden in einem geologischen Tiefenlager erforderlichen Verpackungsverfahren sowie die Nachweise für die Erfüllung der Annahmebedingungen für das vorgesehene geologische Tiefenlager (Konformitätsprüfungen) sind dem ENSI zur Prüfung vorzulegen.

Die Einlagerung von Abfallgebinden in ein geologisches Tiefenlager bedarf einer Freigabe durch das ENSI. Die Freigaben können sich auf einzelne Abfallgebände oder Abfallgebändertypen beziehen. Durch unsachgemässe Handhabung oder Störfälle beschädigte Gebinde, die bei ihrer Einlagerung nicht mehr den Annahmebedingungen entsprechen, sind fallweise bezüglich ihrer Auswirkungen auf die Betriebs- und Langzeitsicherheit zu beurteilen und allenfalls nachzubehandeln.

Für die Betriebsphase sind Vorkehrungen zur Begrenzung der Strahlenexposition zu treffen und erforderliche administrative und technische Massnahmen festzulegen und vorzubereiten, um Störfälle zu vermeiden bzw. eingetretene Störfälle zu beherrschen. Insbesondere

- a. sind die Räumlichkeiten, die Abluft und die Abwässer gemäss StSV radiologisch zu überwachen und anfallende radioaktive Rohabfälle zu sammeln, weiterzubehandeln und kontrolliert zu entsorgen;
- b. ist mittels geeigneter Massnahmen zu verhindern, dass sich in den Untertagebauten durch Gasproduktion der Abfallgebände oder Gaszutritt aus dem Wirtgestein zündfähige Gasgemische bilden.

Bei der Einlagerung von Abfallgebinden, die spaltbares Material enthalten, sind die Bestimmungen der Safeguardsverordnung einzuhalten.

### **5.2.5 Verfüllung**

Die Verfüllung der Lagerräume ist auf die Erfordernisse der Langzeitsicherheit abzustimmen. Das Verfüllen der Lagerräume des Hauptlagers für hochaktive Abfälle hat fortlaufend im Anschluss an die Einlagerung der Abfallgebände zu erfolgen.

### **5.2.6 Rückholung ohne grossen Aufwand**

Falls es während der Betriebsphase Hinweise auf ein Versagen des Barrierensystems gibt, eine zielführende Instandsetzung nicht möglich ist und deshalb die Langzeitsicherheit eines geologischen Tiefenlagers nicht mehr gewährleistet werden kann, müssen Abfallgebände zurückgeholt werden.

### **5.2.7 Berichterstattung**

Die Meldepflicht und Berichterstattung zuhanden des ENSI über Betrieb, radiologischen Zustand und Abweichungen vom normalen Betrieb richten sich nach den ENSI-Richtlinien ENSI-B02, „Periodische Berichterstattung der Kernanlagen“ und ENSI-B03, „Meldungen der Kernanlagen“.

## **5.3 Verschluss und Markierung eines geologischen Tiefenlagers**

### **5.3.1 Verschluss**

Mit dem Verschluss ist das geologische Tiefenlager in einen Zustand zu überführen, in welchem keine weiteren Massnahmen zur Gewährleistung der Langzeitsicherheit erforderlich

sind. Der Verschluss umfasst das Verfüllen sämtlicher nach der Beobachtungsphase noch offener Teile des geologischen Tiefenlagers, das Überführen des Pilotlagers in einen langfristig sicheren Zustand und das Versiegeln der für die Langzeitsicherheit und die Sicherung massgebenden Teile (Art. 69 KEV).

Der Betreiber hat ein Gesuch zum Verschluss einzureichen. Das Gesuch hat eine aktualisierte Sicherheitsanalyse, welche die Erkenntnisse der gesamten Beobachtungsphase berücksichtigt, zu enthalten. Vor der Durchführung der Verschlussarbeiten ist nachzuweisen, dass die vorgesehene Versiegelung die an sie gestellten Anforderungen erfüllt.

Nach dem ordnungsgemässen Verschluss muss die Langzeitsicherheit erneut durch eine Sicherheitsanalyse bestätigt werden, in der die effektive Ausführung des Verschlusses berücksichtigt wird. Diese Sicherheitsanalyse bildet die Grundlage für die Feststellungsverfügung zur Entlassung eines geologischen Tiefenlagers aus der Kernenergiegesetzgebung.

### **5.3.2 Markierung eines geologischen Tiefenlagers**

Der Eigentümer hat im Rahmen des Baubewilligungsgesuchs ein Konzept für die Markierung des geologischen Tiefenlagers vorzulegen. Er hat das Markierungskonzept in den anschließenden Bewilligungsschritten zu konkretisieren. Die dauerhafte Markierung gemäss Art. 40 KEG darf die Langzeitsicherheit nicht beeinträchtigen. Sie ist im Sicherheitsnachweis zu berücksichtigen.

## **6 Optimierung, Qualitätsmanagement und Dokumentation**

### **6.1 Optimierung der Betriebsphase und der Langzeitsicherheit eines geologischen Tiefenlagers**

Der Strahlenschutz in der Betriebsphase eines geologischen Tiefenlagers und seiner zugehörigen Oberflächenanlagen ist gemäss Art. 6 StSV zu optimieren. Dabei sind auch allfällige Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit zu berücksichtigen.

Die radiologischen Auswirkungen durch das geologische Tiefenlager und seine Oberflächenanlagen sind so weit zu reduzieren, wie dies nach dem Stand von Wissenschaft und Technik möglich und zumutbar ist.

Bei jedem Schritt zur Realisierung des geologischen Tiefenlagers sind für jede sicherheitsrelevante Entscheidung verschiedene Alternativen und ihre Bedeutung für die Langzeitsicherheit in qualitativer Weise zu betrachten und ein insgesamt für die Sicherheit günstiger Entscheid zu fällen. Dieses Optimierungsverfahren ist zu dokumentieren.

Im Sinne einer Optimierung der Langzeitsicherheit sind die Lagerbehälter für hochaktive Abfälle auf einen vollständigen Einschluss der Radionuklide während tausend Jahren ab



deren Einlagerung auszulegen. Die Entsorgungspflichtigen haben die zeitliche Einschussfähigkeit der Lagerbehälter aufzuzeigen.

## **6.2 Qualitätsmanagement**

Für sämtliche sicherheitsrelevanten Arbeiten zu Projektierung, Bau, Betrieb, Beobachtung und Verschluss eines geologischen Tiefenlagers ist ein international anerkanntes Standards entsprechendes Qualitätsmanagementprogramm zu erstellen, anzuwenden und dessen Umsetzung zu dokumentieren (Art. 16 und 20 KEG, bzw. Art. 25 und 31 KEV). Soweit praktikabel, sind darin Ermessensentscheide als solche festzuhalten.

Für den Umgang mit Daten und die Durchführung von quantitativen oder qualitativen Analysen im Rahmen der Sicherheitsanalysen sind qualitätssichernde Massnahmen vorzusehen und zu dokumentieren.

Die für die geplanten Arbeiten vorgesehenen Programme zum Qualitätsmanagement sind dem ENSI jeweils vorgängig zur Stellungnahme einzureichen.

## **6.3 Dokumentation**

Die Einlagerung aller Abfallgebinde in einem geologischen Tiefenlager ist zu dokumentieren. Zusätzlich zur Dokumentation des Baus gemäss Art. 27 KEV und des Betriebs gemäss Art. 41 KEV muss eine Dokumentation zur langfristigen Sicherstellung der Kenntnisse über das geologische Tiefenlager gemäss Art. 71 KEV erstellt werden. Diese nach dem ordnungsgemässen Verschluss abzugebende Dokumentation ist in mindestens drei Exemplaren zu erstellen und an unterschiedlichen Stellen zu archivieren. Die Langzeitbeständigkeit der Dokumentation ist aufzuzeigen, und die dazu erforderlichen Wartungs- und Instandhaltungsmassnahmen sind zu erläutern. Die Dokumentation muss in Ergänzung zu Art. 71 KEV mindestens die folgenden Angaben enthalten:

- a. Beschreibung der verschlossenen Anlage und des Standorts. Hierzu gehören die Lage und Ausdehnung der Untertagebauten sowie die Geometrie und die Eigenschaften der umliegenden geologischen Schichten;
- b. Information über jedes eingelagerte Gebinde mit seiner genauen Position sowie seine für die Konditionierung und Einlagerung erstellte Dokumentation;
- c. Information über die Zwischenlagerung und allenfalls Nachkonditionierung von Gebinden, sofern es gegenüber der dokumentierten Standardauslegung abweichende Eigenschaften der Abfallgebinde betrifft und diese Information für eine allfällige Rückholung oder die Langzeitsicherheit relevant ist;
- d. Zusammenfassung der Ergebnisse aus der Überwachung;
- e. Ergebnisse der aktualisierten Sicherheitsanalyse.

## 7 Nachweis der Sicherheit eines geologischen Tiefenlagers

Mit den Bewilligungsgesuchen (Rahmen-, Bau- und Betriebsbewilligungsgesuch) und mit dem Gesuch zum Verschluss des geologischen Tiefenlagers sind gemäss KEG für die Betriebsphase (Betriebssicherheit) und für die Nachverschlussphase (Langzeitsicherheit) eines geologischen Tiefenlagers entsprechende Sicherheitsnachweise vorzulegen. Mit dem Gesuch um Feststellung des ordnungsgemässen Verschlusses ist ein weiterer Langzeitsicherheitsnachweis vorzulegen. Der erforderliche Detaillierungsgrad des Sicherheitsnachweises hängt von der Stufe des Bewilligungsverfahrens ab. Die Sicherheitsnachweise sind periodisch gemäss aktuellem Zustand der Anlage und dem Stand von Wissenschaft und Technik zu ergänzen.

### 7.1 Sicherheitsnachweis für die Betriebsphase

Die Betriebsphase beginnt mit der Betriebsbewilligung und endet mit dem ordnungsgemässen Verschluss (Anhang 2). Der Sicherheitsnachweis für die Betriebsphase hat sich auf eine systematische und umfassende Sicherheitsanalyse sowohl des Normalbetriebs der Anlage wie auch der Auswirkungen von Störfällen zu stützen. Die für den Sicherheitsnachweis erforderlichen Unterlagen richten sich nach den Angaben im Anhang 4 KEV. Sicherheitsrelevante Aspekte des Betriebs einer am gleichen Standort erstellten Verpackungsanlage sind im Sicherheitsnachweis für die Betriebsphase eines geologischen Tiefenlagers einzuschliessen.

Der Sicherheitsnachweis ist in einem Sicherheitsbericht zu dokumentieren. Neben den Anforderungen gemäss Art. 95 Abs. 2 StSV muss der Sicherheitsbericht die folgenden Aspekte enthalten:

- a. Er muss eine Beschreibung der ober- und unterirdischen Anlagen enthalten, aus der die räumlichen Verhältnisse und die typischen Arbeitsabläufe im Normalbetrieb hervorgehen. Die Beschreibung muss alle für die Sicherheit im Normalbetrieb und für die Störfallbeherrschung relevanten Bauten, Anlagen und Einrichtungen umfassen.
- b. Für den Normalbetrieb sind die Vorkehrungen zum Strahlenschutz darzulegen. Die erwarteten Strahlenexpositionen des Personals und der Bevölkerung sind anzugeben.
- c. Die Störfallanalyse muss mindestens auf die in Art. 8 Abs. 2 und 3 KEV genannten Störfalltypen eingehen, soweit sie auf die Anlage zutreffen. Diese sowie weitere anlagen- und standortspezifische Störfälle sind nach Wahrscheinlichkeit ihres Eintretens in die Störfallkategorien gemäss Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen einzuteilen.
- d. Es sind Festlegungen zu den Störfallabläufen zu treffen und mögliche radiologische Auswirkungen zu ermitteln. Die Einhaltung der Grenzwerte gemäss Art. 94 StSV ist nachzuweisen und die Anforderungen der HSK-G14

sind zu berücksichtigen. Ferner sind die Auswirkungen der Störfälle auf die Langzeitsicherheit eines verschlossenen geologischen Tiefenlagers darzulegen.

- e. Für die Betriebsphase ist eine probabilistische Sicherheitsanalyse durchzuführen. Die dazu notwendige Gefährdungsanalyse durch extern ausgelöste Ereignisse wie Erdbeben, Überflutung, usw. ist gemäss Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen durchzuführen. Die Ergebnisse der probabilistischen Sicherheitsanalyse sind zu diskutieren, die risikodominanten Abläufe zu beschreiben und allenfalls sinnvolle Verbesserungsmassnahmen vorzuschlagen.

## **7.2 Sicherheitsnachweis für die Nachverschlussphase**

### **7.2.1 Sicherheitsnachweis**

Der Sicherheitsnachweis stellt eine Gesamtbewertung der Langzeitsicherheit des verschlossenen geologischen Tiefenlagers dar. Er ist auf die Ergebnisse einer umfassenden Sicherheitsanalyse abzustützen, in der das Langzeitverhalten eines geologischen Tiefenlagers und die daraus resultierenden radiologischen Auswirkungen untersucht werden.

Der Sicherheitsnachweis hat eine Bewertung der Methoden der Sicherheitsanalyse und der verwendeten Daten zu enthalten. Gegebenenfalls sind unterstützende Argumente für die Grundlagen und Ergebnisse der Sicherheitsanalyse anzuführen. Nach Möglichkeit sind die Aussagen der Sicherheitsanalysen durch Beobachtungen in der Natur (Naturanaloge) zu stützen.

Der Sicherheitsnachweis ist gemäss aktuellem Stand von Wissenschaft und Technik zu führen. Die verfügbaren technisch-wissenschaftlichen Daten über das geologische Tiefenlager und seine Umgebung sowie die effektiv eingelagerten Gebinde und die während des Betriebs gewonnenen Erkenntnisse und Ergebnisse der Überwachungsprogramme sind entsprechend zu berücksichtigen. Die technisch-wissenschaftlichen Daten müssen auf einem Stand sein, der die Beurteilung des Rückhaltevermögens des Barrierensystems und der für die Begrenzung der Freisetzung von Radionukliden aus einem geologischen Tiefenlager wichtigen Prozesse und Parameter ermöglicht.

Der Sicherheitsnachweis ist in einem Sicherheitsbericht zu dokumentieren. Darin sind auch die Ungewissheiten und ihre sicherheitstechnische Relevanz aufzuzeigen und zu quantifizieren. Dazu gehören Ungewissheiten bezüglich Parametern, Szenarien und Modellkonzepten. Der Sicherheitsbericht ist periodisch zu aktualisieren und hat neue Erkenntnisse für den Nachweis der Langzeitsicherheit zu berücksichtigen.

### **7.2.2 Sicherheitsanalyse**

Die Sicherheitsanalyse ist als systematischer Nachweis für die Einhaltung der Schutzkriterien zu führen. Die Analyse hat mindestens die folgenden Aspekte zu umfassen:

- a. Detaillierte Beschreibung des geologischen Tiefenlagers (Abfallinventar, Barrierensystem, geologische Situation).
- b. Aufzeigen des zeitlichen Verlaufs der radiologischen Toxizität der eingelagerten Abfälle.
- c. Beschreibung der Wirkung und Robustheit der technischen und natürlichen Barrieren. Das Rückhaltevermögen des Barrierensystems ist durch Berechnungen aufzuzeigen.
- d. Beschreibung der zu erwartenden geologischen Langzeitentwicklung.
- e. Beschreibung der zu erwartenden Entwicklung der im geologischen Tiefenlager befindlichen Materialien, einschliesslich der radioaktiven Abfälle und der technischen und natürlichen Barrieren. Die Beschreibung muss die möglichen gegenseitigen Beeinflussungen der unterschiedlichen Materialien berücksichtigen.
- f. Durchführen einer Szenarienanalyse und Festlegung der Rechenfälle, mit denen die zu betrachtenden Entwicklungen des Tiefenlagers untersucht werden. Die möglichen radiologischen Auswirkungen zukünftiger Entwicklungen sind durch umhüllende Varianten einzugrenzen.
- g. Ermittlung des Variationsbereichs der möglichen Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Biosphäre und des Dosismaximums aller Szenarien mit Hilfe von Modellrechnungen.
- h. Begründung, dass die verwendeten Rechenmodelle auf die vorliegende Situation anwendbar sind. Die Bedeutung von Vereinfachungen in den Rechenmodellen gegenüber den natürlichen Gegebenheiten ist zu erläutern.
- i. Durchführen einer Sensitivitätsanalyse, um aufzuzeigen, inwiefern Änderungen in den Parameterwerten die Berechnungsergebnisse beeinflussen.
- k. Analyse der vorhandenen Ungewissheiten in den Daten, Prozessen und Modellen und Berechnung der daraus folgenden Bandbreite der Radionuklidfreisetzung resp. Dosen.

Der Datensatz für die Sicherheitsanalyse ist während der Realisierung eines geologischen Tiefenlagers periodisch zu aktualisieren. Der Datensatz muss auf dem Stand sein, der die Beurteilung der Langzeitsicherheit für die jeweiligen Bewilligungsschritte bzw. Verfügungen gemäss KEG ermöglicht.

#### *Ermittlung der Individualdosen*

Die Freisetzung und Ausbreitung der in ein geologisches Tiefenlager eingebrachten Radionuklide sind durch die Barrieren bis in den Lebensraum des Menschen zu berechnen. Die Schutzkriterien 1 und 2 beziehen sich auf die Strahlenexposition eines durchschnittlichen Individuums innerhalb der von den potenziellen Auswirkungen aus einem geologischen Tiefenlager meist betroffenen Bevölkerungsgruppe.

### *Nachweiszeitraum*

Der Schutz von Mensch und Umwelt vor der ionisierenden Strahlung der Abfälle muss dauerhaft sein. Die Bewertung der potenziellen radiologischen Auswirkungen aus einem geologischen Tiefenlager muss den unvermeidlichen, mit zunehmender Zeitspanne zunehmenden Ungewissheiten Rechnung tragen. So haben technische Barrieren, Wirtgestein, umliegende geologische Schichten, Biosphäre und die Lebensgewohnheiten der Menschen jeweils eine unterschiedliche zeitliche Prognostizierbarkeit.

Für die Festlegung des Nachweiszeitraums sind die zeitliche Entwicklung des radiologischen Gefährdungspotenzials der eingelagerten Abfälle und die Prognostizierbarkeit der geologischen Langzeitentwicklung massgebend. In der Sicherheitsanalyse sind Dosis- und Risikoberechnungen bis zu den maximalen radiologischen Auswirkungen des geologischen Tiefenlagers durchzuführen.

Für einen Zeitraum bis zu einer Million Jahre ist im Rahmen des Sicherheitsnachweises zur Bewertung des geforderten Schutzes die Einhaltung der Schutzkriterien nachzuweisen. Für spätere Zeiten ist der Variationsbereich der von einem geologischen Tiefenlager ausgehenden möglichen regionalen radiologischen Auswirkungen unter Berücksichtigung der inhärent vorhandenen Ungewissheiten zu ermitteln. Diese Auswirkungen dürfen nicht wesentlich höher als die natürliche radiologische Belastung sein. Die Berechnungen der radiologischen Auswirkungen für die ferne Zukunft sind nicht als effektive prognostizierte Strahlenexpositionen einer definierbaren Bevölkerungsgruppe zu verstehen, sondern als Indikatoren zur Bewertung der potenziellen Radionuklidfreisetzung in die Biosphäre. Szenarien, in denen der Tiefenlagerbereich aufgrund geologischer Vorgänge zunehmend Einflüssen der Erdoberfläche ausgesetzt wird, sind in diese Betrachtungen einzubeziehen.

### *Begrenzung der Freisetzung bei nicht vorhandener menschlicher Besiedlung*

In Zeitperioden, in denen eine Besiedlung der Erdoberfläche im Einflussbereich des geologischen Tiefenlagers vorübergehend ausgeschlossen werden kann, hat die Freisetzung aus dem geologischen Tiefenlager das gemäss den Schutzkriterien 1 und 2 erlaubte Mass trotzdem nicht zu überschreiten. Dazu ist für diese Perioden die Präsenz des Menschen in einer Referenzbiosphäre anzunehmen.

### *Annahmen zu Klimaentwicklung und Lebensweise der Bevölkerung*

Für die Berechnung der Strahlendosis in ferner Zukunft ist eine potenziell betroffene Bevölkerungsgruppe mit aus heutiger Sicht realistischen Lebensgewohnheiten zu postulieren. Insbesondere sind

- a. mögliche Varianten der Klimaentwicklung und dazugehörige Biosphärenmodelle festzulegen und ihre Bedeutung für die Langzeitsicherheit des geologischen Tiefenlagers zu untersuchen;
- b. die Wirkung ionisierender Strahlung auf den Menschen nach den heutigen Kenntnissen zu richten;

- c. Szenarien, in denen durch menschliche Handlungen die Sicherheit des geologischen Tiefenlagers beeinflusst wird, so anzunehmen, wie es mit Blick auf die heutige Gesellschaft glaubhaft erscheint.

#### *Nicht zu betrachtende Entwicklungen*

Die Sicherheitsanalyse muss nicht für Szenarien geführt werden, welche die folgenden Ereignisse beinhalten:

- a. absichtliches Eindringen von Menschen in ein geologisches Tiefenlager;
- b. gezielte Schädigung eines geologischen Tiefenlagers;
- c. extrem seltene Vorgänge, z. B. das Einschlagen eines grossen Meteoriten.

#### *Umgang mit Ungewissheiten*

Ungewissheiten in den Daten, Prozessen und Modellkonzepten sowie in der zukünftigen Entwicklung eines geologischen Tiefenlagers sind unvermeidlich. Ungewissheiten sind soweit notwendig durch Forschung und Datenerhebung zu reduzieren. Wo Ungewissheiten bestehen, sind in der Sicherheitsanalyse die maximalen radiologischen Konsequenzen durch die Berechnung umhüllender Varianten oder durch konservative Annahmen abzuschätzen.

Der Einfluss von Ungewissheiten auf die berechneten Ergebnisse ist systematisch aufzuzeigen, und die daraus gezogenen Schlüsse für die Langzeitsicherheit sind darzulegen.

## **8 Sicherungsnachweis**

Für den Nachweis der Sicherung sowie bezüglich Vorkehrungen zur Kontrolle von spaltbaren Materialien gelten die Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und Sicherungsmassnahmen für Kernanlagen und Kernmaterialien, die Safeguardsverordnung sowie die Anforderungen der HSK-R-49. Der Sicherungsnachweis ist in einem zu klassifizierenden Sicherheitsbericht gemäss den Vorgaben der Aufsichtsbehörde zu dokumentieren.

Diese Richtlinie wurde am 19. März 2009 vom ENSI verabschiedet.

Der Direktor des ENSI:

sig. U. Schmocker

## Anhang 1: Begriffsbestimmungen

Die Begriffe Beobachtungsphase, geologisches Tiefenlager und Verschluss sind in Art. 3 KEG definiert.

In dieser Richtlinie bedeuten ausserdem:

|                         |   |
|-------------------------|---|
| Biosphärenmodell        | Transport- und Expositionsmodell zur Umrechnung von Radionuklidfreisetzungen aus der Geosphäre in die Biosphäre in eine Strahlenexposition für die zu betrachtende Bevölkerungsgruppe (hier Individualdosis). Grundlage bildet ein Transport- und Akkumulationsmodell für die Berechnung der Radionuklidausbreitung im menschlichen Lebensraum (Wasser, Luft, Boden) und ein Modell für die Berechnung der Strahlendosis unter Berücksichtigung der Radionuklidaufnahme über das Trinkwasser, die Nahrung und die Atemluft sowie unter Berücksichtigung der direkten Bestrahlung. |
| Dosis                   | Mass für die Beurteilung des gesundheitlichen Risikos durch ionisierende Strahlung. In dieser Richtlinie ist die effektive Dosis gemeint: Summe der mit den Wichtungsfaktoren $w_T$ gewichteten Äquivalentdosen in allen Organen und Geweben. Die Einheit der Dosis ist das Sievert (Sv) (StSV).  |
| Hauptlager              | Bereich eines geologischen Tiefenlagers, in den der Hauptteil der radioaktiven Abfälle eingelagert wird.  |
| Konservative Annahme    | Annahmen werden als konservativ bezeichnet, wenn sie dazu führen, dass die radiologischen Auswirkungen für Mensch und Umwelt mit hoher Wahrscheinlichkeit überschätzt werden. Konservative Annahmen stellen oft Vereinfachungen eines Sachverhalts dar, die zum Zweck der Überbrückung von Daten- oder Verständnislücken eingesetzt werden können.  |
| Lagercontainer          | Lagercontainer können als Überbehälter um die Abfallgebinde eingesetzt werden. Bis zum Ende der Beobachtungsphase ist die mechanische Beständigkeit der Lagercontainer zu gewährleisten.  |
| Langzeitsicherheit      | Sicherheit eines geologischen Tiefenlagers für Mensch und Umwelt nach dessen Verschluss.  |
| Mehrfachbarrierensystem | Ein System von gestaffelten, passiv wirkenden, verschiedenartigen technischen und natürlichen Barrieren zum Einschluss  |

und zur Rückhaltung der im Abfall enthaltenen Radionuklide. Die Wirksamkeit des Mehrfachbarrierensystems darf nicht hauptsächlich von der Wirksamkeit einer einzelnen Barriere abhängig sein.

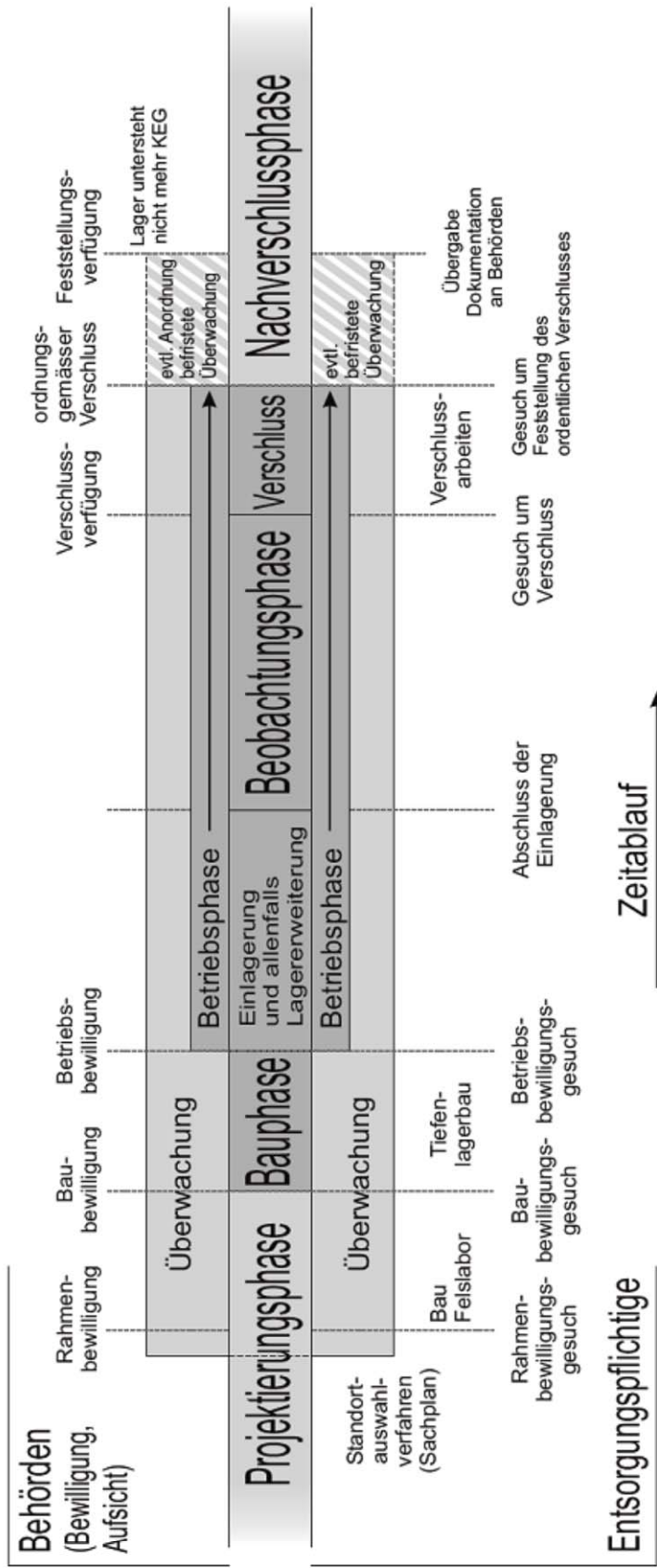
|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| Naturanaloga                     | Als Naturanaloga bezeichnet man für ein geologisches Tiefenlager relevante Geosysteme, Materialien und Prozesse in der Natur, deren Verhalten über lange Zeiträume der Vergangenheit untersucht werden kann. Darunter fallen auch anthropogene Materialien, die über längere Zeiträume natürlichen Prozessen ausgesetzt waren. Die Untersuchungen solcher Naturanaloga helfen bei der Abschätzung möglicher Entwicklungen und der Beurteilung der Langzeitsicherheit eines geologischen Tiefenlagers. |
| Natürliche Barriere              | Natürliches Umfeld eines geologischen Tiefenlagers, das gemäss Sicherheitskonzept passiv wirkend zur Rückhaltung der Radionuklide beiträgt.   |
| Optimierung                      | Für ein geologisches Tiefenlager wird die Optimierung als ein schrittweiser Prozess verstanden, indem bei jeder sicherheitsrelevanten Entscheidung verschiedene Alternativen und ihre Bedeutung für die Sicherheit im Betrieb und für die Langzeitsicherheit in qualitativer Weise betrachtet werden und ein insgesamt für die Sicherheit günstiger Entscheid gefällt wird.   |
| Pilotlager                       | Eigenständiger, vom Hauptlager abgetrennter Teil des geologischen Tiefenlagers, in dem das Verhalten der Abfälle, der Verfüllung und des Wirtgesteins bis zum Ablauf der Beobachtungsphase überwacht wird.  |
| Radiologisches Gesundheitsrisiko | Produkt aus dem potenziellen Schadensausmass der radiologischen Belastung und der Wahrscheinlichkeit, mit der dieser Schaden eintritt, auch Summe solcher Produkte. Dies beinhaltet sowohl das Krebsrisiko als auch das Risiko der Schädigung des Erbgutes.   |
| Robustheit                       | Eigenschaft des betrachteten Systems, falls es sich unempfindlich gegenüber Ungewissheiten, Vorgängen und Ereignissen verhält.  |
| Rückholung                       | Umfasst die Bergung und den Transport von eingelagerten radioaktiven Abfällen aus dem geologischen Tiefenlager zurück zur Oberfläche.   |



|                       |   |
|-----------------------|---|
| Sensitivitätsanalyse  | Untersucht die Änderung der Modellergebnisse auf veränderte Eingabewerte und dient dazu, die für die Sicherheit massgebenden Parameter zu identifizieren.   |
| Sicherheitsanalyse    | Systematische quantitative Untersuchung mit dem Ziel, die Erfüllung der vorgegebenen Sicherheitsanforderungen aufzuzeigen.  |
| Sicherheitsnachweis   | Zusammenführen aller Berechnungen und unterstützender Argumente zur Gesamtbewertung der Sicherheit eines geologischen Tiefenlagers und der Zuverlässigkeit der entsprechenden Sicherheitsanalysen.  |
| Sicherungsnachweis    | Zeigt auf, dass die Vorkehrungen zum Schutz vor aktiven Gefahren und Einwirkungen von innen und aussen sowie zur Kontrolle von spaltbaren Materialien die behördlichen Anforderungen zum Schutz eines geologischen Tiefenlagers und der dazugehörigen Oberflächenanlagen erfüllen. Der Sicherungsbericht ist zu klassifizieren. |
| Szenarium             | Mögliche Variante der Entwicklung der Abfälle, der technischen und natürlichen Barrieren in und um ein Tiefenlager, der Biosphäre und der menschlichen Lebensweisen unter Einwirkung von angenommenen Eigenschaften, Ereignissen und Vorgängen.   |
| Technische Barriere   | Technische Komponente in einem geologischen Tiefenlager, die über den Verschluss hinaus verbleibt und gemäss Sicherheitskonzept passiv wirkend zur Rückhaltung der Radionuklide beiträgt.   |
| Temporärer Verschluss | Rascher Verschluss der Anlage, dessen Anbringung einige Wochen bis Monate benötigt, dessen Wirksamkeit einige Jahrzehnte bis Jahrhunderte dauert.   |
| Testbereiche          | Eigenständige Teile des geologischen Tiefenlagers, um die sicherheitsrelevanten Eigenschaften des Wirtgesteins oder der technischen Barrieren zur Erhärtung des Sicherheitsnachweises vertieft abzuklären, oder um sicherheitsrelevante Techniken zu erproben und deren Funktionstüchtigkeit nachzuweisen.                      |
| Überwachung           | Eine über längere Zeit kontinuierliche oder periodisch wiederholte Beobachtung einer Eigenschaft oder Messung einer   |

|                      |  |
|----------------------|--|
|                      | Kenngrösse oder die Summe aller solcher Beobachtungen und Messungen.   |
| Umhüllende Varianten | Entwicklungsvarianten der Abfälle, der technischen und natürlichen Barrieren in und um ein Tiefenlager, der Biosphäre und der menschlichen Lebensweisen, deren radiologische Auswirkungen in den betrachteten Zeiträumen mit hoher Wahrscheinlichkeit grösser sind als jene des zukünftigen, tatsächlichen Entwicklungsverlaufs. |
| Verfüllung           | Schliessung von Hohlräumen durch Einbringen von Feststoffen. Die Verfüllung kann zur mechanischen Stabilisierung, räumlichen Abtrennung oder Gewährleistung der Funktionstüchtigkeit der natürlichen und technischen Barrieren dienen.   |
| Verpackungsanlage    | Kernanlage an der Oberfläche zur Bereitstellung der Gebinde für die Einlagerung in das geologische Tiefenlager.  |
| Versiegelung         | Technische hydraulische Barriere mit einer gebirgsstützenden Wirkung, die auch zum Schutz der Verfüllung dient.  |
| Zugangsbauwerke      | Zugänge zum Hauptlager, zum Pilotlager und zu den Testbereichen.   |

**Anhang 2: Vereinfachte schematische Darstellung der Abläufe bei Projektierung, Bau, Betrieb und Verschluss eines geologischen Tiefenlagers**





**Herausgeber:** Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI), CH-5232 Villigen-ENSI  
Telefon +41(0)56 310 38 11, Telefax +41(0)56 310 39 95 und +41(0)56 310 39 07

**Zu beziehen bei:** Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI), Informationsdienst, CH-5232 Villigen-ENSI  
oder per E-Mail [Infodienst@ensi.ch](mailto:Infodienst@ensi.ch)  
Abrufbar unter [www.ensi.ch](http://www.ensi.ch)