

**Geschäftsstelle**

Kommission  
Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe  
gemäß § 3 Standortauswahlgesetz

---

**Beratungsunterlage zu TOP 3  
der 6. Sitzung**  
Zusammenfassung des Kurzvortrags  
von Klaus Fischer-Appelt

---

<p><b>Kommission</b> <b>Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe</b> <b>K-Drs. 64</b></p>
--

# **Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung hoch radioaktiver Abfälle im internationalen Vergleich**

**6. Sitzung der Kommission Lagerung radioaktiver Abfälle**

05.12.2014, Berlin

Klaus Fischer-Appelt, GRS

## Sicherheitsanforderungen (safety guides) an die Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen



**Frankreich:** *ASN: Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde* (Februar 2008)



**Schweiz:** *ENSI: Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **ENSI-G03*** (April 2009)



**Schweden:** *SSM: Regulatory Codes SSMFS 2008:21 und SSMFS 2008:37* (Dezember 2008)



**Finnland:** *STUK Guide **YVL D.5: Disposal of Nuclear Waste*** (November 2013)



**Deutschland:** *BMUB: Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle* (September 2010)

➤ s. Diskussion möglicher Ziele von Informationsfahrten der Kommission, 2. Sitzung am 30.06.2014

## Einleitung

- Grundsätzlich gelten die Sicherheitsanforderungen nicht für die Phase der Standortauswahl, sondern für die **Betriebsphase** (Errichtung, Einlagerung, Verschluss) und die **Nachverschlussphase**.
- Die Sicherheitsanforderungen stellen aber die **Genehmigungsvoraussetzungen** für den **ausgewählten Standort** dar.
- Insofern sollte man sich auch während des **Standortauswahlverfahrens** an den Sicherheitsanforderungen orientieren.

## Ausgewählte Themenbereiche der Sicherheitsanforderungen

- a. **Passive Sicherheit/Nachsorgefreiheit, Multibarrierenkonzept**
  - b. **Schutzkriterien, Nachweiszeitraum, Eintrittswahrscheinlichkeit zukünftiger Entwicklungen**
  - c. **Rückholbarkeit**
  - d. **Schrittweise Optimierung**
- Die Originalzitate aus den Sicherheitsanforderungen zu den o.g. Aspekten befinden sich in den Anhängen A-D. (Französischer ASN-Guide in deutscher Übersetzung)

## Passive Sicherheit/Nachsorgefreiheit, Mehrfachbarrierenkonzept (Zitate s. Anhang A)

     • **Nachsorgefreiheit:**

**Nach Verschluss** des Endlagers muss durch passiv wirkende Barrieren sichergestellt werden, dass **keine weiteren Maßnahmen** (Eingriffe, Wartungsarbeiten) zur **Gewährleistung der Langzeitsicherheit** erforderlich sind (passive safety)

     • **Mehrfachbarrierenkonzept:**

Die Langzeitsicherheit eines Endlagers soll durch eine **Kombination von gestaffelten, passiv wirkenden, technischen und natürlichen Barrieren** gewährleistet werden. (Barrieren: Abfallbehälter, Versatz, Schacht- und Streckenabdichtungen, Geologie...)

     • Sollte es zum (teilweisen) **Versagen einer Barriere** kommen, darf dadurch **nicht die Langzeitsicherheit** des Endlagers insgesamt **gefährdet werden**.

# Wahrscheinlichkeitsklassifizierung von zukünftigen Entwicklungen

- **Allgemein:**

Aufgrund der **langen Nachweiszeiträume** für die Langzeitsicherheit ist die **Entwicklung eines Endlagersystems** in der fernen Zukunft **nicht eindeutig vorhersagbar**. Daher sind **mehrere Entwicklungsmöglichkeiten vorstellbar**, deren Eintreten jeweils **unterschiedlich wahrscheinlich** ist.

- **Wahrscheinliche** Entwicklung(en), z.B.:

- Wahrscheinliche Entwicklung klimatischer und geologischer Prozesse
- Wahrscheinliche Entwicklung physikalisch-chemischer Vorgänge im Endlager
- Auslegungskonforme Funktionstüchtigkeit technischer Barrieren

- **Weniger wahrscheinliche** Entwicklungen z.B.:

- Entwicklungen, die unter ungünstigen **klimatischen** und **geologischen** Annahmen eintreten können bzw. in der Vergangenheit selten aufgetreten sind
- Abweichende Entwicklung physikalisch-chemischer **Prozesse** im Endlager
- Ungünstige Entwicklung **technischer Barrieren**, z.B. vorzeitiges Teilversagen

# Eintrittswahrscheinlichkeit von zukünftigen Entwicklungen

(Zitate s. Anhang B)

- 
  - Differenzierung in wahrscheinliche/weniger wahrscheinliche zukünftige Entwicklungen
  
- 
  - Orientierung der radiologischen Schutzkriterien an der Eintrittswahrscheinlichkeit zukünftiger Entwicklungen
  
- 
  - „Wahrscheinliche Entwicklungen“
  - „Referenzsituation (Situation de référence)“
  - „Expected evolution“
  - „Main scenario“
  
- 
  - „Weniger wahrscheinliche Entwicklungen“
  - „Abweichende Situationen (Situations dites altérées)“
  - „Unlikely events“
  - „Less probable scenarios“

## Radiologische Schutzkriterien

(Zitate s. Anhang B)

- **Wahrscheinliche Entwicklungen:**



< 0,25 mSv/a (effektive Jahresdosis f. d. am stärksten betroffenen Individuen)



< 0,1 mSv/a (effektive Jahresdosis f. d. am stärksten betroffenen Individuen)



<  $10^{-6}$ /a (radiologisches Risiko f. d. am stärksten betroffenen Individuen)



< 1000 a: < 0,1 mSv/a (effektive Jahresdosis f. d. am stärksten betroffenen Individuen)

> 1000 a: Radionuklid-spezifische Freisetzungsgrenzen



< 0,01 mSv/a (effektive Jahresdosis f. d. am stärksten betroffenen Individuen)

- **Weniger wahrscheinliche Entwicklungen**



Keine konkrete Festlegung, optional kann Risikoansatz gewählt werden



<  $10^{-6}$ /a (radiologisches Risiko f. d. am stärksten betroffenen Individuen)



<  $10^{-6}$ /a (radiologisches Risiko f. d. am stärksten betroffenen Individuen)



Die Wahrscheinlichkeit von radiolog. Expositionen > 0,5 Sv soll sehr gering sein



< 0,1 mSv/a (effektive Jahresdosis f. d. am stärksten betroffenen Individuen)

## Schutzkriterien und Nachweiszeitraum

(Zitate s. Anhang B)



**Kein definiertes Ende** des Nachweiszeitraums

< **10.000 a**: Die **Einhaltung des Dosisgrenzwertes** muss für die wahrscheinlichen Entwicklungen **nachgewiesen werden**.

> **10.000 a**: **Dosiswert gilt als Richtwert**.



< **1 Mio. Jahre**: Die **Einhaltung der Schutzkriterien** ist nachzuweisen.

> **1 Mio. Jahre**: Die radiologischen Auswirkungen dürfen **nicht wesentlich höher sein als die durch die natürliche Hintergrundstrahlung**.



**Kein definiertes Ende** des Nachweiszeitraums

< **1.000 a**: Die Einhaltung des Risikogrenzwertes gilt als Maß für den **Schutz vor strahlenbedingten Gesundheitsschäden**.

> **1.000 a**: Die Einhaltung des Risikogrenzwertes gilt als **Indikator** für die **Einschlusswirksamkeit** des Endlagerystems.

## Schutzkriterien und Nachweiszeitraum

(Zitate s. Anhang B)



**Kein definiertes Ende** des Nachweiszeitraums

< **einige 1.000 a**: Die Einhaltung der Dosisgrenzwerte gilt als Maß für den **Schutz vor strahlenbedingten Gesundheitsschäden**.

> **einige 1.000 a**: Radionuklid-spezifische Freisetzungsgrenzen gelten als **Indikator für die Einschlusswirksamkeit** des Endlagersystems



**Nachweiszeitraum: 1 Mio. a**, die Einhaltung der Dosisgrenzwerte gilt nur in der Anfangsphase als Maß für den **Schutz vor strahlenbedingten Gesundheitsschäden**. Für **späte Zeiträume** gilt die Einhaltung der Dosisgrenzwerte als **Indikator für die Einschlusswirksamkeit** des Endlagersystems



**ICRP 103, (206)**: Expositionen, die in weiter Zukunft erfolgen, sind **mit beträchtlichen Unsicherheiten behaftet**. Daher sollen **Dosis-Abschätzungen**, die über Zeiträume **von einigen hundert Jahren** in die Zukunft hinausgehen, **nicht als Maß für den strahlenbedingten Gesundheitsschaden betrachtet werden**. Sie sind **eher als Indikatoren für den Schutz, den das Endlager leisten kann**, zu betrachten.

## Rückholbarkeit



- **Thematisierung der Rückholbarkeit**
- Rückholbarkeit **bis zum Verschluss des Endlagers** ist **vorgeschrieben**, Antragsteller hat ein umsetzbares **Rückholungskonzept** zu erarbeiten.
- Rückholbarkeit **optional**
- **Maßnahmen** zur Gewährleistung der Rückholbarkeit dürfen die **Sicherheit des Endlagers nach seinem Verschluss nicht negativ beeinflussen**.
- Die Rückholbarkeit ist **grundsätzlich** gesetzlich festgeschrieben, Mindestzeitraum **100 Jahre**. Die **genaueren Bedingungen** sollen **2016 per Gesetz** festgelegt werden. Heutige Überlegungen sehen vor, Teile des Endlagers nach dem Einlagerungsbetrieb **ca. 100-300 Jahre offenzuhalten**.
- Zusätzlich zur Rückholbarkeit wird die **Bergbarkeit** von Behältern für einen Zeitraum **von 500 Jahren** gefordert. (Anforderung an Behälterstabilität, kein Bergungskonzept erforderlich).

## Optimierung: Motivation

### Radiologische Optimierung

Der Betreiber einer kerntechnischen Anlage ist verpflichtet, **auch unterhalb** der einzuhaltenden radiologischen Grenzwerte, **die Strahlenbelastung so niedrig zu halten, wie dies mit „vernünftigen“ Mitteln\* zu erreichen ist.**

**ALARA-Prinzip** „*As Low As Reasonably Achievable*“= Strahlenschutzprinzip **der internationalen Strahlenschutzkommission ICRP (ICRP 60, 1977)**

\*Erfordert **maßvolle Abwägung** zwischen Strahlenschutz und anderen Schutzziele bzw. zwischen Aufwand und Nutzen = **Effektivitätsgebot.**

### Sicherheitstechnische Optimierung

Aufgrund der **langen Zeitspanne** von Standortauswahl bis zum Verschluss des Endlagers muss der **Fortentwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik Rechnung getragen werden.** Daher soll in bestimmten Zeitabständen **geprüft werden**, ob die **Sicherheit** eines Endlagers durch technische (z.T. auch organisatorische) Maßnahmen **verbessert** werden kann bzw. alternative Konzepte zu wählen sind. Dabei soll die **Aufwand-Nutzen-Relation** beachtet werden.

# Optimierung



- Explizite Forderung nach Optimierung (generell)



- Nur **implizit** durch Verweis auf **Radiation Act**.  
Dort: Forderung nach Anwendung des **ALARA**-Prinzips



- **Radiologische** Optimierung (ALARA)



- **Sicherheitstechnische** Optimierung



- **Best Available Technique** (BAT) = “Beste verfügbare\*  
Technologie” (sicherheitstechnische Optimierung)

*“The **most effective measure available** to limit the release of radioactive substances and the harmful effects of releases on human health and the environment, and **which does not entail unreasonable costs**”*

\*Nicht zwingend die allerneueste Technik, z.B. kann bewährte Technik aus Gründen der Robustheit vorgezogen werden.

## Optimierungsziele:

- 
    - Betrieblicher Strahlenschutz/Betriebssicherheit
  - 
    - Langzeitsicherheit / Einschlussvermögen der Barrieren
  - 
    - Sicherheitsmanagement sowie technische und finanzielle Realisierbarkeit
- 

## Optimierungszeitpunkte:

- 
  - Vor sicherheitsrelevanten Entscheidungen
- 
  - Alle 10 Jahre während der Einlagerungsphase (Prüfung auf Stand von W+T)
- 
  - Periodisch in den verschiedenen Phasen der Realisierung eines Endlagers

## **Anhang**

**Zitate aus den Sicherheitsanforderungen zu  
den betrachteten Aspekten**

**A) Passive Sicherheit/Nachsorgefreiheit,  
Multibarrierenkonzept**



- **ASN-Guide, § 4.1:**  
Das Endlagersystem muss so ausgewählt und ausgelegt werden, *das ihre die Sicherheit **nach dem Verschluss passiv** gewährleistet ist, so dass Mensch und Umwelt vor den in den radioaktiven Abfällen enthaltenen radioaktiven und chemotoxischen Stoffen geschützt werden, **ohne dass ein Eingreifen erforderlich ist.***
- **ASN-Guide, § 5.1:**  
Das Endlagersystem *ist nach dem „Defense-In-Depth“-Ansatz zu planen, also des **Mehrbarrierenkonzepts**, einem international anerkannten Prinzip für die Auslegung und den Betrieb von Kernanlagen.*
- *Dieser Grundsatz [Mehrbarrierenkonzept] bewirkt, dass die Sicherheit der Endlagerung auf der **Komplementarität und der Diversität** der Komponentenklassen und auf einem gewissen Maß an Redundanz der Sicherheitsfunktionen beruht, so dass **plausible Fehler der Komponenten einer bestimmten Klasse allein die Sicherheit der Anlage nicht beeinträchtigen**“.*



- **ENSI-G03, Kap. 4.2:**  
*Langzeitsicherheit: Ein geologisches Tiefenlager ist so auszulegen, dass **nach dessen Verschluss keine weiteren Maßnahmen zur Gewährleistung der Langzeitsicherheit erforderlich sind.***
- *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.*
- **ENSI-G03, Anhang 1 (Definitionen)**  
*Mehrfachbarrierensystem: Die Wirksamkeit des Mehrfachbarrierensystems **darf nicht hauptsächlich von der Wirksamkeit einer einzelnen Barriere abhängig sein.***



- **SSMFS 2008:21, Section 2:**  
*Safety after the closure of a repository shall be maintained through a **system of passive barriers**.*
- **SSMFS 2008:21, Section 7:**  
*The barrier system shall comprise **several barriers** so that, as far as possible, the necessary **safety is maintained despite a single deficiency in a barrier**.*



- **STUK-YVL D.5 , Kap. 4.2, Para. 105:**  
*The disposal of nuclear waste in a manner intended as permanent shall be planned giving priority to safety and so that **ensuring long-term safety does not require the surveillance of the final disposal site**.*
- **STUK-YVL D.5 , Kap. 4.2, Para. 404:**  
*The long-term safety of disposal shall be based on safety functions achieved through mutually **complementary barriers** so that a **deficiency of an individual safety function or a predictable geological change will not jeopardise the long-term safety**.*



- **BMUB 2010, 4.6:**

*Das Endlager ist so zu errichten und so zu betreiben, dass **für den zuverlässigen langfristigen Einschluss** der radioaktiven Abfälle im einschlusswirksamen Gebirgsbereich in der Nachverschlussphase **keine Eingriffe oder Wartungsarbeiten erforderlich werden.***

- **BMUB 2010, 8.7:**

*Die Sicherheit des Endlagers nach seiner Stilllegung ist demnach durch ein **robustes, gestaffeltes Barrierensystem** sicherzustellen, das seine Funktionen **passiv und wartungsfrei** erfüllt und **das seine Funktionstüchtigkeit selbst für den Fall in ausreichendem Maße beibehält, falls einzelne Barrieren nicht ihre volle Wirkung entfalten.***

## **B) Schutzkriterien, Nachweiszeitraum, Eintrittswahrscheinlichkeit**



- **ASN-Guide, § 3.4:**

*Im Rahmen der Sicherheitsanalyse werden folgende Situationen untersucht:*

- *eine **Referenzsituation**, die der **voraussichtlichen Entwicklung** des Endlagers und dem geologischen Umfeld unter dem **Einfluss sicherer oder sehr wahrscheinlicher Ereignisse** entspricht;*
- *sogenannte **veränderte Situationen**, die zum Auftreten **ungewisser, aber plausibler Ereignisse** gehören, seien sie natürlichen Ursprungs oder auf menschliches Eingreifen zurückzuführen, die die Referenzsituation überlagern und **zu einer Beschleunigung des Transports radioaktiver Stoffe zwischen den Einlagerungsbereichen und der Biosphäre führen können.***

## Schutzkriterien, Nachweiszeitraum, Eintrittswahrscheinlichkeit



- **ASN-Guide, § 4.2.1 (Referenzsituation):**  
*Im Referenzszenario dürfen die berechneten **individuellen Effektivdosen** nach dem Verschluss des Endlagers den Wert von **0,25 mSv/a** für länger andauernde Expositionen im Zusammenhang mit **sicheren oder sehr wahrscheinlichen** Ereignissen **nicht übersteigen**.*
- *Da die Stabilität des geologischen Umfelds [...] für einen Zeitraum von **mindestens 10.000 Jahren nachzuweisen** ist, muss der Wert für diesen Zeitraum [...] objektiv bestätigt werden können [...].*
- ***Jenseits dieses Zeitraums** hinaus nehmen die **Ungewissheiten** zu den Entwicklung der Umgebung des Endlagersystems allmählich **zu**. Dennoch müssen **abdeckende quantitative Abschätzungen** der **individuellen Expositionen** vorgenommen werden, [...] um zu überprüfen, dass das die Freisetzung radioaktiver Stoffe **nicht zu inakzeptablen Dosen führt**. Bei dieser Überprüfung wird der vorher genannte Wert von **0,25 mSv/a als Richtwert beibehalten**.*

## Schutzkriterien, Nachweiszeitraum, Eintrittswahrscheinlichkeit



- **ASN-Guide, § 4.2.2 (Abweichende Situationen):**  
*Nach der Schließung des Endlagers können einige **unsichere, aber plausible Ereignisse** natürlichen Ursprungs oder im Zusammenhang mit menschlicher Tätigkeit dazu führen, dass die **Entwicklung des Endlagers beeinträchtigt** und daher der **Transport radioaktiver Stoffe verändert** wird. Bestimmte aus diesen Ereignissen resultierende Szenarien könnten möglicherweise **zu individuellen Expositionen führen, die die Werte der Referenzszenarios für die Endlagerung überschreiten.***
- *Um eine Kohärenz zwischen der Begrenzung der individuellen Expositionen in der Referenzsituation und der Behandlung der potentiellen individuellen Expositionen in veränderten Situationen aufrechtzuerhalten, **kann** der Begriff des **Risikos** (Produkt aus der Wahrscheinlichkeit der Situation und der Wirkung der damit verbundenen Exposition) **benutzt werden**, um die **Wahrscheinlichkeit jeder zu einer Exposition führenden Situation** zu berücksichtigen.*

## Schutzkriterien, Nachweiszeitraum, Eintrittswahrscheinlichkeit



- **ENSI-G03, Kap. 4.2:**  
*ENSI-G03, Kap. 5.1.4 :*  
*Schutz des Menschen: Die geologische Tiefenlagerung **darf nur eine geringe zusätzliche Strahlenexposition von Einzelpersonen der Bevölkerung zur Folge haben.***
- **ENSI-G03, Kap. 4.3.2:**  
*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 eingestuften**, unter Schutzkriterium 1 nicht betrachteten, **zukünftigen Entwicklungen dürfen zusammen kein zusätzliches radiologisches Gesundheitsrisiko einer Einzelperson darstellen, das **grösser als ein Millionstel pro Jahr** ist.***

\* 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 (ENSI-G03, Kap. 7. 2.2)



## Schutzkriterien, Nachweiszeitraum, Eintrittswahrscheinlichkeit

### ENSI-G03, Kap. 7.2.2:

- *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**.*



## Schutzkriterien, Nachweiszeitraum, Eintrittswahrscheinlichkeit

- **SSMFS 2008:37, Section 5:**

*A repository for spent nuclear fuel or nuclear waste shall be designed so that the **annual risk of harmful effects** after closure **does not exceed  $10^{-6}$**  for a **representative individual in the group exposed to the greatest risk.***

- **SSMFS 2008:37, Section 10:**

*An assessment of a repository's protective capability shall be reported for **two time periods** of the orders of magnitude specified in Sections 11 to 12.*

- **SSMFS 2008:37, Section 11:**

*For the **first thousand years** following repository closure, the assessment of the repository's protective capability shall be based on **quantitative analyses** of the **impact on human health and the environment.***

- **SSMFS 2008:37, Section 12:**

*For the period **after the first thousand years** following repository closure, the assessment of the repository's **protective capability** shall be based on various **possible sequences for the development** of the repository's properties, its environment and the biosphere.*



## Schutzkriterien, Nachweiszeitraum, Eintrittswahrscheinlichkeit

- **SSMFS 2008:21, Anhang, Section 9:**  
*Based on an analysis of the probability of occurrence of different **types of scenarios** in different time periods, scenarios with a significant impact on repository performance should be divided into different categories:*
  - *main scenario*
  - *less probable scenarios*
  - *other scenarios or residual scenarios*
- The **main scenario** should be based on the **probable evolution of external conditions** and realistic, or where justified, conservative assumptions with respect to **the internal conditions**. It should comprise future **external events** which have a **significant probability** of occurrence or which **cannot be shown** to have a **low probability of occurrence** during the period of time covered in the safety analysis. Furthermore, it should as far as possible be based on **credible assumptions** with respect to internal conditions, including substantiated assumptions concerning the occurrence of **manufacturing defects and other imperfections**, and which allow for an analysis of the repository barrier performance.



## Schutzkriterien, Nachweiszeitraum, Eintrittswahrscheinlichkeit

- **SSMFS 2008:21, Anhang, Section 9:**  
*Less probable scenarios* should be prepared for the evaluation of scenario uncertainty (see also below). This includes **variations of the main scenario with alternative sequences of events and periods of time** as well as scenarios that take into account the **impact of future human activities, such as damage inflicted on barriers**. (Detriment to humans intruding into the repository is illustrated by residual scenarios; see below.) An analysis of less probable scenarios should include analyses of uncertainties that are not evaluated within the framework of the main scenario.
- **Residual scenarios** should include sequences of events and conditions that are selected and studied **independently of probabilities** in order to, inter alia, illustrate the **significance of individual barriers and barrier functions**. The residual scenarios should also include **cases to illustrate detriment to humans intruding into the repository as well as cases to illustrate the consequences of an unclosed repository that is not monitored**.



## Schutzkriterien, Nachweiszeitraum, Eintrittswahrscheinlichkeit

- **STUK-YVL D.5 , Kap. 4.2, Para. 307:**  
*The disposal of nuclear waste shall be so designed that the **radiation impacts** arising as a consequence of **expected evolution**:*
  - a. *the **annual dose** to the **most exposed individuals** remains **below** the value of **0.1 mSv**; and*
  - b. *the **average annual doses** to **other individuals** remain **insignificantly low**.*
- *These constraints shall be applied over an assessment period, during which the **radiation exposure of humans can be assessed with sufficient reliability**, and which shall extend, at a minimum, **over several millennia** (Government Decree 736/2008, Section 4).*
- **STUK-YVL D.5 , Kap. 4.2, Para. 312 und 313:**  
*The constraints [spezifische Freisetzungsgrenzen für verschieden Radionuklide] shall be applied in **limiting the radiation exposures** arising **beyond the assessment period** referred to in para. 307.*



## Schutzkriterien, Nachweiszeitraum, Eintrittswahrscheinlichkeit

- **STUK-YVL D.5 , Kap. 4.2, Para. 315:**  
*The significance of **unlikely events** impairing long-term safety shall be assessed **by evaluating the reality, probability and possible consequences** of each event. Whenever possible, the radiation impacts caused by such events shall be assessed quantitatively (Government Decree 736/2008, Section 5).*
- **STUK-YVL D.5 , Kap. 4.2, Para. 317:**  
*[...] Where **possible**, the expectation values for the radiation effects arising from the incidents **shall be assessed and compared against the radiation dose constraint of para. 307 or the release constraint of para. 313**. The **possibility** of such radiation exposure that might imply deterministic effects (dose at least around 0.5 Sv) **shall be very low**.*

## Schutzkriterien, Nachweiszeitraum, Eintrittswahrscheinlichkeit



- **BMUB 2010, 4.2:**  
*Die Endlagerung muss sicherstellen, dass **Freisetzungen radioaktiver Stoffe aus dem Endlager langfristig die aus der natürlichen Strahlenexposition resultierenden Risiken nur sehr wenig erhöhen.***
- **BMUB 2010, 4.2:**  
*Zum **Nachweis der Langzeitsicherheit** ist vor jeder wesentlichen Festlegung gemäß Kapitel 5.1 eine umfassende, standortspezifische Sicherheitsanalyse und Sicherheitsbewertung, die einen **Zeitraum von einer Million Jahre** umfasst, vorzunehmen.*
- **BMUB 2010, 6:**  
*International besteht Einvernehmen, dass **berechnete oder abgeschätzte Risiken oder Dosen** in dieser Phase **nur als Indikatoren** für das mit der Endlagerung **zu erzielende Schutzniveau interpretiert** werden dürfen.*

## Schutzkriterien, Nachweiszeitraum, Eintrittswahrscheinlichkeit



- **BMUB 2010, 6.2:**  
*Für die **Nachverschlussphase** ist nachzuweisen, dass für **wahrscheinliche Entwicklungen** durch Freisetzung von Radionukliden, die aus den eingelagerten radioaktiven Abfällen stammen, **für Einzelpersonen der Bevölkerung** nur eine **zusätzliche effektive Dosis im Bereich von 10 Mikrosievert im Jahr auftreten kann.***
- **BMUB 2010, 6.3:**  
*Für **weniger wahrscheinliche Entwicklungen** in der Nachverschlussphase ist nachzuweisen, dass die durch Freisetzung von Radionukliden, die aus den eingelagerten radioaktiven Abfällen stammen, verursachte **zusätzliche effektive Dosis** für die dadurch betroffenen Menschen **0,1 Millisievert pro Jahr** nicht überschreitet.*

## Schutzkriterien, Nachweiszeitraum, Eintrittswahrscheinlichkeit



- **BMUB 2010, 2:**  
*Wahrscheinliche Entwicklungen sind die für diesen Standort prognostizierten normalen Entwicklungen und für vergleichbare Standorte oder ähnliche geologische Situationen normalerweise beobachtete Entwicklungen. Dabei ist für die technischen Komponenten des Endlagers die als normal prognostizierte Entwicklung ihrer Eigenschaften zugrunde zu legen.*
- *Weniger wahrscheinliche Entwicklungen sind solche, die für diesen Standort unter ungünstigen geologischen oder klimatischen Annahmen eintreten können und die bei vergleichbaren Standorten oder vergleichbaren geologischen Situationen selten aufgetreten sind. Für die technischen Komponenten des Endlagers ist dabei eine als normal prognostizierte Entwicklung ihrer Eigenschaften bei Eintreten der jeweiligen geologischen Entwicklung zugrunde zu legen. Außerdem sind auch von der normalen Entwicklung abweichende ungünstige Entwicklungen der Eigenschaften der technischen Komponenten zu untersuchen. Rückwirkungen auf das geologische Umfeld sind zu betrachten. Abgesehen von diesen Rückwirkungen sind dabei die jeweilig erwarteten geologischen Entwicklungen zu berücksichtigen. Innerhalb einer derartigen Entwicklung ist das gleichzeitige Auftreten mehrerer unabhängiger Fehler nicht zu unterstellen.*

## **C) Rückholbarkeit**



- **ASN-Guide, § 3.5:**

*Das Umweltgesetz legt im Artikel L 542-1-1 fest, dass die Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen „**unter Beachtung des Prinzips der Rückholbarkeit**“ zu erfolgen hat und im Artikel L542-10-1, dass die Bedingungen der Rückholbarkeit gesetzlich\* festgelegt werden.*

- *Die Rückholbarkeit der eingelagerten Abfälle setzt **angepasste Betriebsverfahren** sowie **Überwachungsmöglichkeiten der Anlage** voraus.*
- *Die für die Rückholbarkeit der eingelagerten Abfälle getroffenen Vorkehrungen dürfen **die Sicherheit beim Betrieb** und **die Sicherheit nach dem Verschluss des Endlagers** nicht beeinträchtigen.*
- *\* Zu den genaueren Bedingungen der Rückholbarkeit soll 2016 ein Gesetz verabschiedet werden.*



- **ENSI-G03, Kap. 5.1.4 :**  
*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 nicht beeinträchtigen** (Art. 11 Abs. 2c KEV).*
- *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.***
- **ENSI-G03 (Anhang 1, Definitionen):**  
*Rückholung: Umfasst die **Bergung und den Transport** von eingelagerten radioaktiven Abfällen **aus dem geologischen Tiefenlager zurück zur Oberfläche.***



- **SSMFS 2008:37, Anhang, Section 8:**  
Measures **can** also be adopted **during construction and operation** with the primary aim of facilitating the **retrieval** of disposed nuclear materials and nuclear waste from the repository, either **during the operating period or after closure**.
- The **safety analysis report** [...], should show that these measures either have a **minor and negligible impact on repository safety**, or that the measures result in an **improvement of safety**, compared with the situation that would arise if the measures were not adopted.
- **SSMFS 2008:37, Anhang, Section 8:**  
The **impact on safety of measures** adopted to facilitate the monitoring or **retrieval** of disposed nuclear material or nuclear waste from the repository, or to make access to the repository difficult, shall be **analysed and reported** to the Swedish Radiation Safety Authority.



- **Keine Festlegungen zur Rückholbarkeit**



- **BMUB 2010, 8.6:**  
*Für die **wahrscheinlichen Entwicklungen** muss eine **Handhabbarkeit** der **Abfallbehälter bei einer eventuellen Bergung** aus dem **stillgelegten und verschlossenen Endlager für einen Zeitraum von 500 Jahren** gegeben sein.*
- *In der Betriebsphase **bis zum Verschluss der Schächte** oder **Rampen** muss eine **Rückholung der Abfallbehälter** möglich sein.*
- ***Maßnahmen**, die zur Sicherstellung der Möglichkeiten zur **Rückholung** oder **Bergung** getroffen werden, dürfen die **passiven Sicherheitsbarrieren** und damit die **Langzeitsicherheit nicht beeinträchtigen**.*

## **D) Schrittweise Optimierung**



- **ASN-Guide, § 5.1:**  
*Es wird ein abwägender [iterativer] Ansatz gewählt, der darin besteht, dass jede der **Komponenten** unter Berücksichtigung ihrer Rolle im gesamten Sicherheitssystem des Endlagers einerseits und des **Kenntnisstands**, der **verfügbaren Techniken** und der **wirtschaftlichen Faktoren** andererseits **so wirksam wie aus vernünftiger Sicht möglich** gewählt oder konzipiert wird.*
- **ASN-Guide, § 6:**  
*Die Vorgehensweise zur Sicherheit basiert auf einem **iterativen Bewertungsprozess** der Sicherheit der Endlagerung nach deren Verschluss. Dieser Prozess erfolgt **periodisch in den verschiedenen Entwicklungsphasen eines Endlagers**, von seiner Auslegung bis zu seinem Verschluss. Diese Bewertungen führen dazu, die in der vorhergehenden Etappe **festgelegten Vorkehrungen** im Hinblick auf den Sicherheitsnachweis der Endlagerung **zu bestätigen oder zu überarbeiten**.*



- **ENSI-G03, Kap. 6.1:**  
*Der **Strahlenschutz in der Betriebsphase** eines geologischen Tiefenlagers und seiner zugehörigen Oberflächenanlagen ist gemäß Art. 6 StSV zu optimieren. 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. (**Radiologische Optimierung, ALARA\***)*
- \*ALARA: As Low As Reasonably Achievable= Strahlenschutzprinzip der ICRP für kerntechnische Anlagen: Das ALARA-Prinzip fordert, beim Umgang mit ionisierenden Strahlen eine Strahlenbelastung (auch unterhalb von Grenzwerten) so gering zu halten, wie dies mit vernünftigen Mitteln machbar ist (u.a. Kosten-Nutzen-Relation).**
- *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. (**Sicherheitstechnische Optimierung**)*



## SSMFS 2008:37, Section 4:

*Optimisation must be performed and the **best available technique** shall be taken into consideration in the final management of spent nuclear fuel and nuclear waste.*

## SSMFS 2008:37, Section 2:

- **Optimisation** (radiologische Optimierung):  
*Keeping the **radiation doses** to humans **as low as reasonably achievable** while taking **economic** and **societal** factors into account (ALARA-Prinzip)*
- **Best Available Technique BAT** = “beste verfügbare Technologie”  
(sicherheitstechnische Optimierung)  
*The **most effective measure available**\* to **limit the release of radioactive substances** and the harmful effects of releases on human health and the environment, and which does not **entail unreasonable costs***

[\*Nicht zwingend die allerneueste Technik, z.B. kann bewährte Technik aus Gründen der Robustheit vorgezogen werden]



- **Keine expliziten Ausführungen zur Optimierung, Verweis auf Radiation Act 27.3.1991/592, Section 2: 2. The practice shall be arranged so that the resulting **exposure to radiation hazardous to health** is kept **as low as is reasonably achievable** (principle of optimization)= **ALARA****



- **BMUB 2010, 5.1:**  
*Vor wesentlichen Entscheidungen zum weiteren Vorgehen ist eine **Optimierung** auf der Basis von Sicherheitsanalysen und Sicherheitsbewertungen gemäß Kapitel 7 mit **Untersuchung möglicher Alternativen** durchzuführen.*
- **Optimierungsziele :**
  - Strahlenschutz für Betriebsphase
  - Langzeitsicherheit
  - Betriebssicherheit des Endlagers
  - Zuverlässigkeit und Qualität des langfristigen Einschusses der Abfälle
  - Sicherheitsmanagement
  - technische sowie finanzielle Realisierbarkeit
- **BMUB 2010, 5.3:**  
*Während des **Einlagerungsbetriebes** ist vom Betreiber jeweils **im Abstand von 10 Jahren** eine Überprüfung auf **sicherheitsrelevante Veränderungen des Standes von Wissenschaft und Technik** bei der Beurteilung der Sicherheit von Endlagern und eine Überprüfung und Bestätigung der Sicherheitsnachweise durchzuführen.*

## Internet-Links



**Frankreich:**

*ASN: Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde* (Februar 2008)

<http://professionnels.asn.fr/Installations-nucleaires/Guide-de-l-ASN-domaine-des-dechets-radioactifs-et-du-demantelement/Guide-de-surete-relatif-au-stockage-definitif-des-dechets-radioactifs-en-formation-geologique-profonde>



**Schweiz:**

*ENSI: Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen ENSI-G03* (April 2009)

[http://static.ensi.ch/1313766360/g03\\_d.pdf](http://static.ensi.ch/1313766360/g03_d.pdf)



**Schweden:**

*SSM: Regulatory Codes SSMFS 2008:21 und SSMFS 2008:37* (Dezember 2008)

<https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Global/Publikationer/Forfattning/Engelska/SSMFS-2008-21E.pdf>

<https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Global/Publikationer/Forfattning/Engelska/SSMFS-2008-37E.pdf>



**Finnland:**

*STUK Guide YVL D.5: Disposal of Nuclear Waste* (November 2013)

<http://plus.edilex.fi/stuklex/en/lainsaadanto/saannosto/YVLD-5>



**Deutschland:**

*BMUB: Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle* (September 2010)

[http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/sicherheitsanforderungen\\_endlagerung\\_bf.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/sicherheitsanforderungen_endlagerung_bf.pdf)