
Diskussionsveranstaltung Sicherheitsanforderungen

**Internationale Anforderungen an
die Optimierung im Rahmen
des Endlagerentwicklungsprozesses
und an die
Redundanz / Diversität von Barrieren**

20.03.2009, Berlin

Klaus Fischer-Appelt,
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit Köln

Fragen:

- In welchen Ländern wurden in jüngerer Zeit Sicherheitsanforderungen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle aufgestellt?
- Welche Anforderungen bestehen an die Optimierung im Rahmen des Endlagerentwicklungsprozesses?
- Welche Anforderungen werden an das Barrierensystem hinsichtlich Redundanz* und Diversität* gestellt?








*Schweiz, KEV, Art. 10:

Redundanz bedeutet mehr funktionsbereite Ausrüstung als zur Erfüllung der vorgesehenen Sicherheitsfunktion notwendig ist.

Diversität bedeutet Anwendung physikalisch oder technisch verschiedenartiger Prinzipien.

Sicherheitsanforderungen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle im internationalen Raum (neuere Entwicklungen)



-  **Großbritannien:** Environment Agency: *Deep Geological Disposal Facilities on Land for Solid Radioactive Wastes: Guidance on Requirements for Authorisation* (Februar 2009)
-  **Frankreich:** ASN: *Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde* (Februar 2008)
-  **Schweden:** SSI *Guideline SF 2005:5* (2005), SKI *Regulatory Code SKIFS 2002:1* (2002)
-  **Finnland:** STUK *Guide YVL 8.4: Long-term Safety of Disposal of Spent Nuclear Fuel* (Mai 2001)
-  **USA:** NRC Regulation Part 63: *Disposal of High-Level Radioactive Wastes in a Geologic Repository at Yucca Mountain, Nevada* (Oktober 2008)
-  **Kanada:** CNSC: *Regulatory Guide G-320: Assessing the Long Term Safety of Radioactive Waste Management* (Dezember 2006)
-  **Schweiz:** *Kernenergieverordnung KEV* (Januar 2009, Änderung) *Richtlinie HSK G03/d* (Januar 2009)

3

Anforderungen an die Optimierung:

Internationale Empfehlungen



Geological Disposal of Radioactive Waste - Safety Requirements
No. *WS-R-4* (2006):

“Optimierung bedeutet eine **stete Verbesserung im Hinblick auf die Sicherheit** in einem schrittweise durchgeführten Endlagerprozess. An jedem Haltepunkt ist zu überprüfen, ob die **Langzeitsicherheit** noch gegeben ist und wie diese im weiteren Prozessverlauf verbessert werden kann”
(Abwägung verschiedener sicherheitsgerichteter Faktoren).



The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection ICRP 103 (2007):

“Optimierung bedeutet die stete Beantwortung der Frage, ob unter den gegebenen Umständen **alles Vernünftige getan wurde, um die Dosis zu reduzieren.**”

ALARA-Prinzip (As Low As Reasonably Achievable) [ICRP-60]

Es ist abzuwägen zwischen der (Reduktion der) Belastung und den verfügbaren Ressourcen (dem Aufwand) zum Schutz vor der Belastung.

“Die beste Option bedeutet nicht notwendigerweise die niedrigste Dosis.”

4

Anforderungen an die Optimierung:

UK: *Guidance on Requirements for Authorisation*



GRS

- Optimierung: kontinuierlicher, vorausblickender und **iterativer Prozess** für alle Phasen der Endlagerentwicklung: Planung, Errichtung, Betrieb und Stilllegung. Nachweis der Optimierung bei jedem Haltepunkt.
- Nicht nur die Minimierung des radiologischen Risikos nach dem dosisbezogenen **ALARA-Prinzip**,
- sondern auch die Minimierung **nicht-radiologischer** Gefahren (chemotoxische Stoffe) sowie **gesellschaftliche** und **ökonomische** Faktoren sollen beim Optimierungsprozess als Gesichtspunkte mit einbezogen und sorgfältig gegeneinander abgewogen werden.

5

Anforderungen an die Optimierung:

Frankreich: *ASN-Guide de surete relatif au stockage definitif*



GRS

- Es wird ein umsichtiger 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.
- Forderung nach einem **iterativen Bewertungsprozess** der Sicherheit der Endlagerung nach deren Verschluss (Kap. 6 Sicherheitsnachweis).
- 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 Entwicklungsphase getroffenen **Festlegungen** im Hinblick auf den Sicherheitsnachweis der Endlagerung **zu bestätigen oder zu überarbeiten**.

6

Anforderungen an die Optimierung:

Schweden: SSI SF 2005:5



GRS

- Parallele Anwendung zweier Optimierungsprinzipien:
Optimierung (i.e.s) und **„beste verfügbarer Technologie“** (Best Available Technique BAT)
- **Optimierung:** Prozess der auf die Minimierung von radiologischen Risiken abzielt. Bewertung erfolgt quantitativ auf der Basis von risikobasierten Sicherheitsanalysen (ALARA-Prinzip)
- **BAT:** Maßnahmen (technische, konzeptionelle und organisatorische), die zu einer Verbesserung der Isolationswirkung des Barrierensystems (geologisch /technisch) führen. Nicht zwingend die allerneueste Technik, bewährte Technik kann aus Gründen der Robustheit vorgezogen werden
- Im Konfliktfall wird insbesondere für ferne Zeiträume nach Endlagerverschluss BAT der Vorzug gegenüber der radiologischen Optimierung gegeben

7

Anforderungen an die Optimierung:

GRS

Finnland: STUK Guide YVL 8.4



- Prinzip ähnlich Schweden: Während der Endlagerplanung soll beachtet werden, dass die **„beste verfügbare Technologie“** (BAT) zur Anwendung kommt

USA: NRC-Regulation Part 63



- Optimierungsgebot (im Sinne von ALARA) nur für die Phase **vor** Endlagerverschluss
- Für die Phase **nach** Endlagerverschluss wird die Einhaltung des Dosislimits (Maximale Individualjahresdosis von 0,15 mSv/a) als ausreichend angesehen, d.h. durch die Einhaltung des Dosischutzzieles wird bereits ausreichende Optimierung des Endlagersystems unterstellt
- Regulatorische Vorgabe → Nachweis der Einhaltung der regulatorischen Vorgaben (kein weitergehendes Optimierungsgebot)

8

Anforderungen an die Optimierung:
Kanada: Regulatory Guide G-320



GRS

- **Dosislimit** von 1 mSv/a, **Zielwert** (target) für die Optimierung < 0,3 mSv/a
- Optimierungsgebot bezieht sich auf die **Minimierung radiologischer Belastungen** (ALARA-Prinzip)
- Notwendigkeit des ALARA-Prinzips wird mit Modell-, Szenarien- und Datenunsicherheiten sowie der zusätzlichen Belastung von Personen durch andere Quellen begründet

9

Anforderungen an die Optimierung:
Schweiz: HSK- Richtlinie G03/d



GRS

- Nach Art. 6 StSV ist Strahlenschutz in der **Betriebsphase** so zu optimieren, d.h. dass die **radiologischen Auswirkungen** [...] mit geeigneten Maßnahmen so zu reduzieren sind, als dies nach Stand von Wissenschaft und Technik möglich und zumutbar ist. (**ALARA-Prinzip**)
- Die **Langzeitsicherheit** nach Verschluss des Tiefenlagers ist durch geeignete Maßnahmen zu optimieren. Der Antragsteller muss zeigen, dass er bei jedem **Prozessschritt** eine **für die Langzeitsicherheit günstige Variante** wählt.

10

Anforderungen an Barrieren (Redundanz und Diversität) Internationale Empfehlungen



*Geological Disposal of Radioactive Waste – Safety Requirement
No. WS-R-4 (2006):*

- Das gleichzeitige Vorhandensein von **multiplen Barrieren** und von Sicherheitsfunktionen verstärkt beides sowohl die Sicherheit als auch das Vertrauen in die Sicherheit.
- Es muss gewährleistet werden, dass die **Gesamtsicherheit** des Endlagersystems **nicht auf einer einzelnen Barriere** oder einer einzelnen Sicherheitsfunktion aufbaut.
- Die Barrieren und ihre Sicherheitsfunktionen ergänzen sich gegenseitig und wirken stets im Verbund miteinander. Auch beim **Ausfall** einer Barriere oder deren Sicherheitsfunktion verbleibt noch **genügend Sicherheitsspielraum**.



ICRP 81: Radiation Protection Recommendations as Applied to the Disposal of Long-lived Solid Radioactive Waste (2000):

- Die Effizienz des Endlagersystems wird durch **sich gegenseitig ergänzende** und/oder **im Verbund wirkende** Leistungen verschiedener **Barrieren** erreicht.

➤ **Defense-In-Depth-Prinzip**





Anforderungen an Barrieren (Redundanz und Diversität)



- Multi-Barrieren-Konzept (geologisch/technisch) als Beitrag zur passiven Sicherheit gefordert
 - Es ist zu demonstrieren, dass das (teilweise) Versagen einer Barriere nicht zu inakzeptabel hohen radiologischen Risiken führt sondern dass der Ausfall einer Barriere sicherheitstechnisch durch andere Barrieren weitgehend aufgefangen werden kann (**defense-in-depth-Ansatz**).
 - Da ein aber Teil der Barrieren über den Nachweiszeitraum in der von ca. 1 Mio. a. nur zeitweise wirkt, können (i.Ggs. zu Kernkraftwerken) nicht alle Barrieren gleichzeitig über den Gesamtzeitraum redundant (und diversitär) wirken.
- Redundanz und Diversität zumindest zeitweise bei zwei bestimmten Barrieren vom Konzept her gegeben

Anforderungen an Barrieren (Redundanz und Diversität)



- Keine expliziten Anforderungen bezüglich Redundanz (u. Diversität) oder aber (bewusst?) „weiche“ Formulierungen:
-  Sicherheit der Endlagerung soll 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*“.
- § 7: *“The barrier system shall comprise several barriers so that, as far as  ssible, the necessary safety is maintained in spite of a single deficiency in a barrier.“*
- *“The long-term safety of disposal shall be based on redundant barriers so that  ciency in one of the barriers or a predictable geological change does not jeopardise the long-term safety*
- *“Containment can be achieved through a robust design based on multiple barriers  viding defense-in-depth”*

13

Anforderungen an Barrieren (Redundanz und Diversität)

Schweiz: **Kernenergieverordnung und HSK- Richtlinie G03**



- **KEV: Art. 10 (Grundsätze für die Auslegung von Kernkraftwerken)**
Sicherheitsfunktionen müssen nach den **Grundsätzen der Redundanz und der Diversität** erfolgen.
- **KEV: Art. 11 (Grundsätze für die Auslegung von geologischen Tiefenlagern)**
die Grundsätze von Artikel 10 Absatz 1 sind **sinngemäss** zu erfüllen:
Gewährleistung der Langzeitsicherheit durch **gestaffelte passive Sicherheitsbarrieren**.
- **HSK: Richtlinie G03 + Erläuterungen**
Sicherheitsbarrieren: Die Langzeitsicherheit eines geologischen Tiefenlagers ist durch **gestaffelte passive Sicherheitsbarrieren** (Mehrfachbarrierensystem) zu gewährleisten. Die Staffelung der Barrieren bedeutet, dass die verminderte Wirksamkeit einer einzelnen Barriere zu keiner Umgehung des Mehrfachbarrierensystems führt. Versagt eine technische Barriere, kommen durch die Staffelung weitere, verschiedenartige Barrieren zum Tragen.
- **Defense-In-Depth-Prinzip**

14

Zusammenfassung



- **Optimierung: Trennung der Phasen vor und nach Verschluss:**
 - Alle regulatorischen Anforderungen berücksichtigen das ALARA-Prinzip für die **Betriebs- und Stilllegungsphase** (wie bei anderen kerntechnischen Anlagen)
 - Optimierungsgedanke für die **Phase nach Verschluss** wird weiter gefasst als nach dem rein radiologisch orientierten ALARA-Prinzip:
 - Einbezug **weiterer Aspekte**: Isolationswirkung des Endlagersystems, Robustheit der Maßnahmen und Systemkomponenten, Sozioökonomie, konventioneller Umweltschutz, Reduktion der Wahrscheinlichkeit menschlichen Eindringens etc.
 - Optimierung in aller Regel gekoppelt an schrittweisen Endlagerentwicklungsprozess
 - **BAT** und **Optimierung** international **nicht einheitlich definiert**
- **Redundanz und Diversität von Barrieren: Meist „defense-in-depth-Ansatz“**
 - Sämtliche Regularien fordern **Multi-Barrieren-Systeme**, wodurch zumindest für bestimmte Zeitabschnitte Redundanz und Diversität von Barrieren gegeben ist.
 - Versagen einer Barriere darf nicht zu inakzeptabel hohen radiologischen Risiken führen
 - Ausfall einer Barriere muss sicherheitstechnisch durch andere Barrieren weitgehend¹⁵ aufgefangen werden (**Defense-In-Depth-Ansatz**).



- **Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit !**

Profil der GRS



- Die GRS – **Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH** – ist eine gemeinnützige technisch-wissenschaftliche Forschungs- und Sachverständigenorganisation.
- Sie verfügt über interdisziplinäres Wissen, fortschrittliche Methoden und qualifizierte Daten, um die Sicherheit technischer Anlagen zu bewerten und weiterzuentwickeln.
- Arbeitsschwerpunkt ist die nukleare Sicherheit und Entsorgung. Ihre Aussagen folgen allein technisch-wissenschaftlichen Grundsätzen. Sie stützen sich maßgeblich auf Wissen und Erfahrung aus eigenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, vertieften Sicherheitsanalysen, umfangreichen Auswertungen von Betriebserfahrungen sowie aus langjähriger internationaler Zusammenarbeit.
- Die Hauptauftraggeber der GRS in Deutschland sind BMU, BMWi, BMBF, AA sowie BfS