



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit

# **Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle**

**Stand 30. September 2010**

## **Inhaltsverzeichnis**

1. Zielsetzung und Geltungsbereich .....	3
2. Begriffsdefinitionen und -erläuterungen .....	4
3. Zweckbestimmung und allgemeine Schutzziele .....	8
4. Sicherheitsprinzipien .....	8
5. Schrittweises Verfahren und Optimierung.....	10
6. Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen .....	11
7. Sicherheitsnachweise .....	12
8. Endlagerauslegung.....	17
9. Sicherheitsmanagement .....	19
10. Dokumentation .....	22

## 1. Zielsetzung und Geltungsbereich

Die Sicherheitsanforderungen legen fest, welches Sicherheitsniveau zur Erfüllung der atomrechtlichen Anforderungen ein Endlager für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle in tiefen geologischen Formationen nachweislich einzuhalten hat. Dieses Sicherheitsniveau wird nicht allein durch allgemeine Schutzziele und Schutzkriterien bestimmt, die Bestandteil dieser Sicherheitsanforderungen sind, sondern durch die Umsetzung der Gesamtheit der nachfolgend genannten Anforderungen. Diese Sicherheitsanforderungen gehen von einem Endlagerkonzept aus, bei dem die radioaktiven Abfälle in einer tiefen geologischen Formation mit hohem Einschlussvermögen endgelagert werden.

Diese Sicherheitsanforderungen gelten ausschließlich für ein zu errichtendes Endlager für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle und ersetzen diesbezüglich die am 5. Januar 1983 im Bundesanzeiger bekannt gemachten Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk.

Sie gelten für den Standort, an dem sich der für die Einrichtung von Anlagen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle zuständige Bund für die Durchführung eines Planfeststellungsverfahrens entschieden hat, für das an diesem Standort zu errichtende, zu betreibende und stillzulegende Endlager sowie für die mit der Errichtung, dem Betrieb, der Zulassung und der Beaufsichtigung dieses Endlagers befassten Organisationen. Die Sicherheitsanforderungen gelten somit für die Planung, weitere Erkundung, Errichtung, den Einlagerungsbetrieb und die Stilllegung eines derartigen Endlagers und betreffen auch die nach seiner Stilllegung zur Kontrolle bzw. Beweissicherung durchzuführenden Maßnahmen.

Die Sicherheitsanforderungen enthalten insbesondere Festlegungen zu folgenden Punkten:

- Mit der Endlagerung radioaktiver Abfälle verfolgte Schutzziele
- Zu beachtende Sicherheitsprinzipien
- Schrittweises Vorgehen und Optimierung bezüglich Strahlenschutz, Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit des langzeitsicheren Einschlusses der Abfälle unter Berücksichtigung der Realisierbarkeit
- Schutz vor Schäden durch ionisierender Strahlen
- Anforderungen an Sicherheitsanalysen und ihre Bewertung für Betrieb und Langzeitsicherheit
- Auslegungsanforderungen an das Sicherheitskonzept des Endlagers für Betriebs- und Nachverschlussphase
- Das Sicherheitsmanagement für Errichtung und Betrieb des Endlagers
- Dokumentation des Endlagers

Die Sicherheitsanforderungen können soweit zweckmäßig durch Leitlinien konkretisiert werden.

Durch diese Unterlage werden nicht die rechtlichen Verfahren zur Auswahl des Endlagerstandortes und zur Zulassung eines Endlagers für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle festgelegt. Ebenso werden hier keine Festlegungen zu den gemäß § 7 Abs. 2 Nr. 5 des Atomgesetzes zum Schutz gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter zu treffenden Maßnahmen sowie zu den aus der internationalen Kernmaterialüberwachung und aus anderen Rechtsgebieten resultierenden Anforderungen getroffen.

Soweit aus anderweitigen Erwägungen auch vernachlässigbar wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle in dieses Endlager eingelagert werden sollen, sind diese Sicherheitsanforderungen unter Einbeziehung dieser Abfälle mit Ausnahme der gemäß Abschnitt 8.6 für Abfallbehälter geltenden Anforderungen einzuhalten.

## **2. Begriffsdefinitionen und -erläuterungen**

### Abfall, wärmeentwickelnder radioaktiver

Wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle sind durch hohe Aktivitätskonzentrationen und damit einhergehende hohe Zerfallswärmeleistungen gekennzeichnet. Sie stellen besondere Anforderungen an ein Endlager (Endlagerung in tiefen geologischen Formationen, Verwendung von abgeschirmten anlageninternen Transportbehältern, Anwendung spezieller Einlagerungstechniken, thermische Auslegung des Endlagerbergwerks). Dazu gehören insbesondere Abfälle in Form von bestrahlten Brennelementen sowie verglaste Spaltproduktkonzentrate (ggf. gemeinsam mit Feedklärschlämmen verglast) und hochdruckverpresste Hülsen und Strukturteile aus der Wiederaufarbeitung bestrahlter Brennelemente. Sie sind gemäß § 3 Abs. 2 Nr. 1a StrlSchV radioaktive Stoffe im Sinne des § 2 Abs. 1 des Atomgesetzes, die nach § 9a des Atomgesetzes als radioaktive Abfälle geordnet beseitigt werden müssen.

### Barriere

Barrieren sind natürliche oder technische Komponenten des Endlagersystems. Barrieren sind beispielsweise die Abfallmatrizen, die Abfallbehälter, die Kammer- und Schachtverschlussbauwerke, der einschlusswirksame Gebirgsbereich (ewG) und die diesen ewG umgebenden oder überlagernden geologischen Schichten.

Eine Barriere kann verschiedene Sicherheitsfunktionen wahrnehmen. Die Sicherheitsfunktion einer Barriere kann eine physikalische oder chemische Eigenschaft oder ein physikalischer oder chemischer Prozess sein. Beispielsweise können die Ver- oder Behinderung des Zutritts von Flüssigkeiten zu den Abfällen oder der Schutz des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs vor Erosion Sicherheitsfunktionen sein. Elemente des Endlagersystems, deren Sicherheitsfunktion lediglich darin besteht, aus den Abfällen freigesetzte Stoffe zu verteilen oder zu verdünnen, werden nicht als Barrieren bezeichnet.

### Bergung radioaktiver Abfälle

Als Bergung wird die Rückholung radioaktiver Abfälle aus dem Endlager als Notfallmaßnahme bezeichnet.

### Deckgebirge

Als Deckgebirge werden die den einschlusswirksamen Gebirgsbereich überlagernden geologischen Schichten bezeichnet.

### Einschluss

Als Einschluss wird eine Sicherheitsfunktion des Endlagersystems bezeichnet, die dadurch charakterisiert ist, dass die radioaktiven Abfälle in einem definierten Gebirgsbereich so eingeschlossen sind, dass sie im wesentlichen am Einlagerungsort verbleiben und allenfalls geringe definierte Stoffmengen diesen Gebirgsbereich verlassen.

### Einschlusswirksamer Gebirgsbereich

Der einschlusswirksame Gebirgsbereich ist der Teil des Endlagersystems, der im Zusammenwirken mit den technischen Verschlüssen (Schachtverschlüsse, Kammerabschlussbauwerke, Dammbauwerke, Versatz, ... ) den Einschluss der Abfälle sicherstellt.

### Endlagerbergwerk

Das Endlagerbergwerk besteht aus unterschiedlichen Komponenten wie Schächten, Strecken, Kammern mit den darin eingelagerten Abfallbinden, Versatz und Dichtelementen.

### Endlagersystem

Das Endlagersystem besteht aus dem Endlagerbergwerk, dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich und aus den diesen Gebirgsbereich umgebenden oder überlagernden geologischen Schichten bis zur Erdoberfläche, soweit sie sicherheitstechnisch bedeutsam und damit im Sicherheitsnachweis zu berücksichtigen sind.

### Entwicklungen des Endlagersystems

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. Falls eine quantitative Angabe zur Eintrittswahrscheinlichkeit einer bestimmten Entwicklung möglich ist, und ihre Eintrittswahrscheinlichkeit bezogen auf den Nachweiszeitraum mindestens 10 % beträgt, gilt diese als wahrscheinliche Entwicklung.

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. Falls eine quantitative Angabe zur Wahrscheinlichkeit einer bestimmten Entwicklung oder einer ungünstigen Entwicklung der Eigenschaften einer technischen Kompo-

nente möglich ist, sind diese hier zu betrachten, wenn diese Wahrscheinlichkeit bezogen auf den Nachweiszeitraum mindestens 1 % beträgt.

Unwahrscheinliche Entwicklungen sind Entwicklungen, deren Eintreten am Standort selbst unter ungünstigen Annahmen nicht erwartet wird und die bei vergleichbaren Standorten oder vergleichbaren geologischen Situationen nicht beobachtet wurden. Zustände und Entwicklungen für technische Komponenten, die durch zu treffende Maßnahmen praktisch ausgeschlossen werden können sowie das gleichzeitige unabhängige Versagen von mehreren Komponenten werden den unwahrscheinlichen Entwicklungen zugeordnet.

#### Integrität

Der Begriff Integrität beschreibt den Erhalt der Eigenschaften des Einschlussvermögens des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs eines Endlagers.

#### Kritikalität

Die Kritikalität ist der Zustand einer sich selbst erhaltenden Kettenreaktion, d. h. die Neutronenproduktionsrate ist gleich oder größer als die Neutronenverlustrate.

#### Langzeitsicherheit

Langzeitsicherheit ist der Zustand des Endlagers, für den nach der Stilllegung die diesbezüglichen Sicherheitsanforderungen erfüllt werden (siehe Kapitel 7.2).

#### Langzeitsicherheitsanalyse

Als Langzeitsicherheitsanalyse wird die Analyse des Langzeitverhaltens des Endlagers nach Stilllegung bezeichnet. Zentraler Aspekt ist die Analyse des Einschlussvermögens des Endlagersystems und seiner Zuverlässigkeit. Sie umfasst z. B. die Entwicklung konzeptioneller Modelle, die Szenarienentwicklung, die Konsequenzenanalyse, die Unsicherheitsanalyse sowie den Vergleich der Ergebnisse mit vorgegebenen Sicherheitsprinzipien, Schutzkriterien und sonstigen Nachweisanforderungen. Sie ist Voraussetzung für den Langzeitsicherheitsnachweis.

### Nachweiszeitraum

Für den Nachweiszeitraum ist die Langzeitsicherheit nachzuweisen.

### Phasen der geologischen Endlagerung

Die Betriebsphase beginnt mit der Einlagerung der Abfälle in das Endlager und endet mit dem endgültigen Verschluss der Schächte und dem Rückbau der übertägigen Anlagen im Rahmen der Stilllegung. Die Nachverschlussphase beginnt nach Ende der Stilllegungsarbeiten.

### Robustheit

Mit Robustheit wird die Zuverlässigkeit und Qualität und somit die Unempfindlichkeit der Sicherheitsfunktionen des Endlagersystems und seiner Barrieren gegenüber inneren und äußeren Einflüssen und Störungen sowie die Unempfindlichkeit der Ergebnisse der Sicherheitsanalyse gegenüber Abweichungen von den zugrunde gelegten Annahmen bezeichnet.

### Rückholbarkeit

Als Rückholbarkeit wird die geplante technische Möglichkeit zum Entfernen der eingelagerten radioaktiven Abfallbehälter aus dem Endlagerbergwerk bezeichnet.

### Sicherheit

Sicherheit im technischen Sinn ist gewährleistet, wenn die Sicherheitsanforderungen erfüllt sind.

### Sicherheitsanalyse

In der Sicherheitsanalyse wird das Verhalten des Endlagersystems unter den verschiedensten Belastungssituationen und unter Berücksichtigung von Datenunsicherheiten, Fehlfunktionen sowie zukünftigen Entwicklungsmöglichkeiten im Hinblick auf die Sicherheitsfunktionen analysiert. Sie endet mit einer Einschätzung der Zuverlässigkeit der Erfüllung der Sicherheitsfunktionen und damit auch der Robustheit des Endlagers (Sicherheitseinschätzung, safety assessment).

### Sicherheitsfunktion

Eine Sicherheitsfunktion ist eine Eigenschaft oder ein im Endlagersystem ablaufender Prozess, die bzw. der in einem sicherheitsbezogenen System oder Teilsystem oder bei einer Einzelkomponente die Erfüllung der sicherheitsrelevanten Anforderungen gewährleistet. Durch das Zusammenwirken solcher Funktionen wird die Erfüllung aller sicherheitstechnischen Anforderungen sowohl in der Betriebsphase als auch in der Nachverschlussphase des Endlagers gewährleistet.

### Sicherheitsmanagement

Das Sicherheitsmanagement definiert Strategie und Prozesse, um eine zuverlässige Umsetzung der Sicherheitsanforderungen und eine stetige Verbesserung des Sicherheitsniveaus des Endlagers zu erreichen. Es beinhaltet auch die Kontrolle des erreichten Standes und die Einleitung von konkreten Prozessen zur Verbesserung.

Das Sicherheitsmanagement umfasst die Gesamtheit der Tätigkeiten zur sachgerechten Planung, Organisation, Leitung und Kontrolle von Personen und Arbeiten, einschließlich der notwendigen Prozesse zur vorausschauenden Planung und Bereitstellung der erforderlichen personellen, organisationsbezogenen und finanziellen Ressourcen, einer angemessenen Infrastruktur und eines sicherheitsfördernden Arbeitsumfeldes sowie zur geregelten Zusammenarbeit mit externen Organisationen.

### Sicherheitsnachweis

Der Sicherheitsnachweis (safety case) baut auf einer umfassenden Sicherheitsanalyse auf. Er umfasst die Prüfung und Bewertung von Daten, Maßnahmen, Analysen und Argumenten, die die Erfüllung dieser Sicherheitsanforderungen und damit die Sicherheit des Endlagers aufzeigen. Ein umfassender Sicherheitsnachweis beinhaltet die Zusammenführung aller in diesen Sicherheitsanforderungen genannten Nachweise und kann mit einem dem jeweiligen Kenntnisstand entsprechenden Tiefgang für verschiedene Phasen der Endlagerung geführt werden. Es wird insbesondere zwischen Sicherheitsnachweisen für die Betriebsphase und für die Nachverschlussphase des Endlagers unterschieden.

### Stilllegung

Die Stilllegung umfasst alle nach Einstellung der Einlagerung getroffenen Maßnahmen einschließlich Verschluss des Endlagers zur Herstellung eines wartungsfreien Zustandes, der die Langzeitsicherheit des Endlagers gewährleistet. Zur Stilllegung können schon während der Betriebsphase durchzuführende Maßnahmen (z. B. Verschlussbauwerke für befüllte Einlagerungskammern) gehören.

### Szenarium

Ein Szenarium beschreibt eine von den derzeitigen Standortgegebenheiten ausgehende und aufgrund geowissenschaftlicher oder sonstiger Überlegungen mehr oder weniger wahrscheinliche Entwicklung des Endlagersystems mit seinen sicherheitsrelevanten Eigenschaften nach der Stilllegung des Endlagers. Diese Entwicklung wird durch die Ausgangssituation sowie durch zu künftige Ereignisse und Prozesse bestimmt. Es können auch mehrere Entwicklungen zu einem Szenarium zusammengefasst werden.

### Verfüllung

Mit Verfüllung wird das Einbringen von Versatzmaterial in die Grubenbaue zur Verringerung des verbleibenden Hohlraumvolumens bezeichnet.

### Verschluss

Als Verschluss wird sowohl der Verschluss der Einlagerungsbereiche durch konturbündige Verfüllung ausgewählter Strecken und Grubenbaue als auch der dichte Verschluss der Schächte des Endlagerbergwerks bezeichnet. Zum Verschluss zählen alle technischen Bauwerke, die in das Endlagerbergwerk eingebracht werden, um die Integrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs und den Schutz vor ionisierenden Strahlen sicherzustellen.

## **3. Zweckbestimmung und allgemeine Schutzziele**

Diese Sicherheitsanforderungen haben den Zweck, Grundsätze und Anforderungen für Vorsorge- und Schutzmaßnahmen zum Schutz des Menschen und der Umwelt vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung festzulegen, die bei der Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen anzuwenden sind. Diese Endlagerung verfolgt zwei wesentliche allgemeine Schutzziele:

- 3.1 Dauerhafter Schutz von Mensch und Umwelt vor der ionisierenden Strahlung und sonstigen schädlichen Wirkungen dieser Abfälle



### 3.2 Vermeidung unzumutbarer Lasten und Verpflichtungen für zukünftige Generationen

Die Sicherheitsanforderungen sind so verfasst, dass die Voraussetzungen zum Nachweis des dauerhaften Schutzes von Mensch und Umwelt auch vor sonstigen schädlichen Wirkungen dieser Abfälle gegeben sind. Die Nachweise selbst sind jedoch nach den wasserrechtlichen Bestimmungen zu führen.

## 4. Sicherheitsprinzipien

Der dauerhafte Schutz von Mensch und Umwelt ist unter Beachtung folgender Sicherheitsprinzipien zu erreichen:

- 4.1 Die radioaktiven und sonstigen Schadstoffe in den Abfällen müssen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich konzentriert und eingeschlossen und damit möglichst lange von der Biosphäre ferngehalten werden.
- 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.
- 4.3 Die Endlagerung darf die Artenvielfalt nicht gefährden. Dabei wird davon ausgegangen, dass auch terrestrische Ökosysteme sowie andere Spezies in ihrer Art geschützt werden, wenn der Mensch als Individuum vor ionisierender Strahlung geschützt ist.
- 4.4 Die anderweitige Nutzung der natürlichen Ressourcen darf nicht unnötig eingeschränkt werden.
- 4.5 Die Auswirkungen der Endlagerung auf Mensch und Umwelt dürfen außerhalb der Grenzen Deutschlands nicht größer sein als innerhalb Deutschlands zulässig.

Zur Vermeidung unzumutbarer Lasten und Verpflichtungen für zukünftige Generationen sind folgende Sicherheitsprinzipien zu beachten:

- 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 Einriffe oder Wartungsarbeiten erforderlich werden.
- 4.7 Es ist eine möglichst zügige Errichtung des Endlagers zu realisieren.
- 4.8 Für Errichtung und Betrieb einschließlich Stilllegung des Endlagers müssen die finanziellen Mittel zeitgerecht zur Verfügung stehen.

## 5. Schrittweises Verfahren und Optimierung

Die nach der Standortfestlegung des Endlagers bis zum Ende der Stilllegung durchgeführten Maßnahmen zur geologischen Endlagerung werden einen Zeitraum von mehreren Jahrzehnten umfassen. Daher muss dem zunehmenden Kenntnissgewinn und der Weiterentwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik Rechnung getragen werden. Die Konzeption bzw. Auslegung des Endlagers ist schrittweise unter Abwägung der unten genannten Optimierungsziele zu entwickeln. Zusätzlich sind die gemäß den Prinzipien des Strahlenschutzes zu leistende Optimierung und die Optimierung im Rahmen des Sicherheitsmanagements als kontinuierliche Aufgabe im laufenden Betrieb durchzuführen.

- 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. Der Tiefgang dieser Untersuchungen richtet sich nach der sicherheitstechnischen Bedeutung der jeweiligen Entscheidung.

Diese Optimierung ist unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls und unter Beachtung der Ausgewogenheit folgender Optimierungsziele zu leisten:

- Strahlenschutz für Betriebsphase
- Langzeitsicherheit
- Betriebssicherheit des Endlagers
- Zuverlässigkeit und Qualität des langfristigen Einschusses der Abfälle
- Sicherheitsmanagement
- technische sowie finanzielle Realisierbarkeit

Entscheidend für die Zuverlässigkeit des langzeitsicheren Einschusses ist ein robustes Barrierensystem, bei dem die Sicherheitsfunktionen des Endlagersystems und seiner Barrieren gegenüber inneren und äußeren Einflüssen und Störungen unempfindlich sind, das Verhalten des einschusswirksamen Gebirgsbereichs gut prognostizierbar ist und die Ergebnisse der Sicherheitsanalyse gegenüber Abweichungen von den zugrunde gelegten Annahmen unempfindlich sind.

Bezüglich der technischen Auslegung des Endlagers sind folgende wesentliche Festlegungen zu treffen:

- Lage und Abmessungen des einschusswirksamen Gebirgsbereichs unter Berücksichtigung einer vorläufigen Planung der Behälter, Einlagerungstechnik und -geometrie
- Positionierung und technische Ausführung der Schächte bzw. Rampen und Infrastrukturstrecken
- Einlagerungskonzept (z. B. Logistik, Anordnung sowie Handhabung und Kontrolle der Gebinde)
- Stilllegungs- inklusive Verschlussmaßnahmen

- 5.2 Die Optimierung des Endlagers mit Blick auf eine zuverlässige Isolation der radioaktiven Stoffe im Endlager vor zukünftigen menschlichen Aktivitäten ist nachrangig zu den oben aufgeführten Optimierungszielen durchzuführen. Da

zukünftige menschliche Aktivitäten nicht prognostiziert werden können, sind Referenzszenarien für ein unbeabsichtigtes menschliches Eindringen in das Endlager, denen derzeit übliche menschliche Aktivitäten zugrunde liegen, zu analysieren. Im Rahmen dieser Optimierung ist auf eine Reduzierung der Wahrscheinlichkeit ihres Eintretens und ihrer radiologischen Auswirkungen auf die allgemeine Bevölkerung hinzuwirken.

- 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. In diese Überprüfung und Bestätigung ist auch der Erfahrungsrückfluss aus dem Betrieb des Endlagers einzubeziehen. Mit der Überprüfung und Bestätigung der Sicherheitsnachweise während der Betriebsphase ist nicht nur sicherzustellen, dass im Betrieb des Endlagers z. B. Änderungen der gesetzlichen Bestimmungen, die Weiterentwicklung von Einlagerungstechniken oder der sich weiterentwickelnde Kenntnisstand bei der Bewertung der Anlagensicherheit berücksichtigt werden, sondern auch für die Optimierung des Einlagerungsbetriebs sowie für den Wissenserhalt bei allen Beteiligten Sorge zu tragen.

## **6. Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen**

Für den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen bei Einlagerungsbetrieb und Stilllegung des Endlagers gelten die einschlägigen Vorschriften des Atomgesetzes mit seinen Verordnungen. Dabei ist das jeweils gültige kerntechnische Regelwerk sinngemäß anzuwenden.

Die Strahlenschutzverordnung enthält keine Kriterien, mit denen der Schutz zukünftiger Generationen und der Umwelt vor ionisierender Strahlung zu bewerten ist. Bei einem unter Beachtung dieser Sicherheitsanforderungen geplanten, errichteten, betriebenen und stillgelegten Endlager werden alle wesentlichen Maßnahmen getroffen, um nachfolgende Generationen und die Umwelt vor Schäden durch ionisierende Strahlen zu schützen, so dass weitergehende Nachweise von daher grundsätzlich entfallen können. 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. Für diese Indikatoren gelten folgende Bewertungskriterien.

- 6.1 Maßgeblich für den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen in der Nachverschlussphase ist die Integrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs. Die radioaktiven Abfälle müssen in diesem Gebirgsbereich so eingeschlossen sein, dass sie dort verbleiben und allenfalls geringfügige Stoffmengen diesen Gebirgsbereich verlassen können. Zusätzliche Strahlenexpositionen sollen nur in einem begrenzten Gebiet auftreten können, so dass möglichst wenige Personen einer Generation betroffen sein können.
- 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 zu-

sätzliche effektive Dosis im Bereich von 10 Mikrosievert<sup>1</sup> im Jahr auftreten kann. Dabei sind Einzelpersonen mit einer heutigen Lebenserwartung, die während der gesamten Lebenszeit exponiert werden, zu betrachten.

- 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<sup>2</sup> nicht überschreitet. Dabei sind ebenfalls Einzelpersonen mit einer heutigen Lebenserwartung, die während der gesamten Lebenszeit exponiert werden, zu betrachten.

Für derartige Entwicklungen sind höhere Freisetzungen radioaktiver Stoffe zulässig, da das Eintreten solcher Entwicklungen eine geringere Wahrscheinlichkeit aufweist.

- 6.4 Für unwahrscheinliche Entwicklungen wird kein Wert für zumutbare Risiken oder zumutbare Strahlenexpositionen festgelegt. Soweit diese Entwicklungen aber zu hohen Strahlenexpositionen führen können, ist im Rahmen der Optimierung zu prüfen, ob eine Reduzierung dieser Auswirkungen mit vertretbarem Aufwand möglich ist. Hierdurch darf die Optimierung bezogen auf die anderen Entwicklungen jedoch nicht beeinträchtigt werden.
- 6.5 Für Entwicklungen aufgrund eines unbeabsichtigten Eindringens in den einschlusswirksamen Gebirgsbereich wird kein Wert für zumutbare Risiken oder zumutbare Strahlenexpositionen festgelegt.

## 7. Sicherheitsnachweise

- 7.1 Eine wesentliche Voraussetzung für die Zulassung des Endlagers im Rahmen des nach § 9b des Atomgesetzes vorgeschriebenen Planfeststellungsverfahrens ist, dass die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden durch die Errichtung und den Betrieb des Endlagers getroffen ist. Für die dabei durchzuführenden Arbeiten oder Tätigkeiten gelten die Regelungen der Strahlenschutzverordnung. Ebenso sind bei Errichtung und Betrieb eines geologischen Endlagers die einschlägigen Bestimmungen des Bundesberggesetzes zu beachten. Der Betrieb des Endlagers ist an analogen Anforderungen zu messen wie der Betrieb anderer kerntechnischer Anlagen.

Es ist ein umfassender Sicherheitsnachweis für alle Betriebszustände des Endlagers einschließlich der übertägigen Anlagen zu führen. Insbesondere sind für den Einlagerungsbetrieb und die Stilllegung anlagenspezifische Sicherheitsanalysen unter Berücksichtigung von definierten Auslegungsstörfällen durchzuführen, die den gemäß Strahlenschutzverordnung notwendigen Schutz von Betriebspersonal, Bevölkerung und Umwelt belegen. Dazu gehört, dass die Ro-

---

<sup>1</sup> In Anlehnung an ICRP 104 (triviale Dosis)

<sup>2</sup> In Anlehnung an ICRP 81 (Risiko kleiner 10<sup>-5</sup>/a)

bustheit des Endlagersystems analysiert und dargestellt wird. Außerdem sind für die sicherheitsbezogenen Systeme, Teilsysteme oder Einzelkomponenten die jeweiligen Wahrscheinlichkeiten von Einwirkungen, Ausfällen oder von Abweichungen vom Erwartungsfall (Referenzfall) soweit möglich zu berechnen oder abzuschätzen und die Auswirkungen auf die jeweils zugehörige Sicherheitsfunktion zu analysieren. Die Relevanz der untersuchten Ausfälle auf die Betriebssicherheit ist mit probabilistischen Methoden zu untersuchen.

7.2 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. Sie umfasst alle Informationen, Analysen und Argumente, die die Langzeitsicherheit des Endlagers belegen, und hat darzulegen, wodurch das Vertrauen in diese Bewertung begründet ist. Diese Bewertung und deren Dokumentation müssen insbesondere folgende Punkte umfassen:

- Das jeweils zugrunde liegende Endlagerkonzept.
- Die qualitätsgesicherte Erhebung von Daten und Informationen aus Standorterkundung, Forschung und Entwicklung.
- Die qualitätsgesicherte Umsetzbarkeit der Anforderungen an technische Barrieren.
- Die Identifizierung, Charakterisierung und Modellierung sicherheitsrelevanter Prozesse sowie die diesbezügliche Vertrauensbildung und Qualifizierung der Modelle.
- Die umfassende Identifizierung und Analyse sicherheitsrelevanter Szenarien und ihre Einordnung in die Wahrscheinlichkeitsklassen gemäß Kapitel 6.
- Die Darstellung und Umsetzung einer systematischen Strategie zur Identifizierung, Bewertung und Handhabung von Unsicherheiten.

Diese Bewertung der Langzeitsicherheit muss sich darüber hinausgehend auf mindestens folgende Erkenntnisse abstützen:

7.2.1 **Langzeitaussage zur Integrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs:** Für die wahrscheinlichen Entwicklungen ist für den einschlusswirksamen Gebirgsbereich auf der Grundlage einer geowissenschaftlichen Langzeitprognose nachzuweisen, dass die Integrität dieses Gebirgsbereichs über den Nachweiszeitraum von einer Million Jahre sichergestellt ist. Hierfür ist vom Antragsteller der einschlusswirksame Gebirgsbereich räumlich und zeitlich eindeutig zu definieren und unter Berücksichtigung der eingelagerten Abfälle und der technischen Barrieren zu zeigen, dass

- die Ausbildung von solchen sekundären Wasserwegsamkeiten innerhalb des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs ausgeschlossen ist, die zum Eindringen oder Austreten ggf. schadstoffbelasteter wässriger Lösungen führen können und dass

- ggf. im einschlusswirksamen Gebirgsbereich vorhandenes Porenwasser nicht am hydrogeologischen Kreislauf im Sinne des Wasserrechts außerhalb des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs teilnimmt. Dies gilt als erfüllt, wenn die Ausbreitung von Schadstoffen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich durch advective Transportprozesse allenfalls vergleichbar zur Ausbreitung durch diffusive Transportprozesse erfolgt.

Bei Salinar- und Tongesteinen ist die Integrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs zusätzlich anhand folgender Kriterien zu prüfen:

- Die zu erwartenden Beanspruchungen dürfen die Dilatanzfestigkeiten der Gesteinsformationen des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs außerhalb der Auflockerungszonen nicht überschreiten.
- Die zu erwartenden Fluiddrücke dürfen die Fluiddruckbelastbarkeiten der Gesteinsformationen des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs nicht in einer Weise überschreiten, die zu einem erhöhten Zutritt von Grundwässern in diesen einschlusswirksamen Gebirgsbereich führt.
- Durch die Temperaturentwicklung darf die Barrierewirkung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs nicht unzulässig beeinflusst werden.

**7.2.2 Radiologische Langzeitaussage:** Für wahrscheinliche und weniger wahrscheinliche Entwicklungen ist nachzuweisen, dass die in den Kapiteln 6.2 und 6.3 aufgeführten Kriterien eingehalten sind. Soweit hinreichend zuverlässige Aussagen für den Nachweiszeitraum von einer Million Jahre über die Wirksamkeit von Sicherheitsfunktionen des Deck- und Nebengebirges des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs gemacht werden können, kann die radiologische Langzeitaussage diese einbeziehen.

Eine vereinfachte radiologische Langzeitaussage ohne Modellierung einer Ausbreitung von Stoffen im Deck- und Nebengebirge ist zulässig, falls die jährlich aus dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich freigesetzten radioaktiven Stoffe für die Bevölkerung höchstens zu 0,1 Personen-Millisievert pro Jahr für wahrscheinliche und höchstens zu 1 Personen-Millisievert pro Jahr für weniger wahrscheinliche Entwicklungen führen. Hierdurch wird sichergestellt, dass nur sehr geringe Gesamtmengen an radioaktiven Schadstoffen freigesetzt werden können. Diese Personen-Millisievert sind anhand eines für Betrachtungen zur Langzeitsicherheit anerkannten generischen Expositionsmodells zu ermitteln, für das anzunehmen ist, dass

- die betrachtete Referenzgruppe 10 Personen umfasst, die während ihrer Lebenszeit den gesamten für die Ernährung (Trinken, Tränken, Beregnen) notwendigen jährlichen Wasserbedarf aus einem Brunnen deckt und
- dieses Brunnenwasser sämtliche aus dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich in dem jeweiligen Jahr ausgetretenen Radionuklide enthält. Dabei ist die Verdünnung des Brunnenwassers auf einen Mineralgehalt zu berücksichtigen, der die Nutzung des Brunnenwassers als Trinkwasser zuließe.

Da praktisch auszuschließen ist, dass alle freigesetzten Radionuklide in genau einem Brunnen angesammelt werden und keine weiteren Verteilungen oder Rückhaltungen im Deck- oder Nebengebirge stattfinden, stellt dieses Berech-

nungsmodell sicher, dass die unter 6.1 bis 6.3 genannten Anforderungen eingehalten werden.

- 7.2.3 **Nachweis der Robustheit technischer Komponenten des Endlagersystems:** Die langfristige Robustheit technischer Komponenten des Endlagersystems muss auf der Basis theoretischer Überlegungen prognostiziert und dargelegt werden. Falls technische Barrieren im Hinblick auf die Langzeitsicherheit bedeutsame Sicherheitsfunktionen übernehmen und besonderen Anforderungen unterliegen und hierfür keine anerkannten Regeln der Technik vorliegen, muss deren Herstellung, Errichtung und Funktion grundsätzlich erprobt sein. Diese Erprobung muss eine nach Stand von Wissenschaft und Technik durchgeführte Qualitätssicherung beinhalten. Diese Erprobung kann entfallen, falls die Robustheit dieser Bauwerke, d.h. ihre Unempfindlichkeit gegenüber inneren und äußeren Einflüssen und Störungen, anderweitig nachgewiesen werden kann oder falls Sicherheitsreserven in einem Umfang bestehen, die den Verzicht auf eine Erprobung erlauben.

Beim Nachweis der Integrität bzw. des Einschlusses sind die technisch unvermeidbaren Barriereperforationen (z. B. Schächte) und die Verfüllung des Endlagers zu berücksichtigen. Es ist zu zeigen, dass die von der geologischen Barriere geforderte Integrität und der von ihr zu gewährleistende Einschluss auch bei Berücksichtigung der technischen Abdichtungs- und Verschlussbauwerke sowie Verfüllung erhalten bleiben. Zum Nachweis sind unter anderem die für die Funktionstüchtigkeit der technischen Verschlussbauwerke maßgeblichen Beanspruchungszustände und Eigenschaften der Baustoffe zu untersuchen. Die hinreichende Belastbarkeit und Alterungsbeständigkeit dieser Baustoffe ist für den Zeitraum nachzuweisen, für den die Funktionstüchtigkeit der Bauwerke gegeben sein muss. Soweit notwendig müssen sofort wirksame Barrieren den Einschluss der Abfälle für den Zeitraum übernehmen, in dem die volle Wirksamkeit der langfristig wirksamen Barrieren noch nicht gegeben ist.

- 7.2.4 **Ausschluss von Kritikalität:** Es ist zu zeigen, dass sich selbst erhaltende Kettenreaktionen sowohl bei wahrscheinlichen wie auch bei weniger wahrscheinlichen Entwicklungen ausgeschlossen sind.

- 7.3 Für die numerische Analyse des Langzeitverhaltens des Endlagers im Hinblick auf

- Integrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs
- radiologische Konsequenzen
- Mobilisierung natürlicher Radionuklide
- Eigenschaften von Behälter und Versatz
- Eigenschaften der Verschlussbauwerke

sind deterministische Rechnungen auf der Basis einer möglichst realitätsnahen Modellierung (z. B. Medianwerte als Eingangsparameter) durchzuführen. Zielsetzungen dieser Rechnungen sind:

- Demonstration des erwarteten Systemverhaltens
- Ableitung von gegebenenfalls zeitabhängigen Anforderungen an die Komponenten des Endlagersystems

- Optimierung des Endlagersystems

Zusätzlich sind Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen durchzuführen, um den möglichen Lösungsraum aufzuzeigen sowie den Einfluss der Unsicherheiten einschätzen zu können. Dabei sind auch Modellunsicherheiten zu berücksichtigen. Die Einhaltung von numerischen Kriterien, die sich aus diesen Sicherheitsanalysen ergeben oder daraus abgeleitet wurden, muss unter Berücksichtigung der Unsicherheiten mit ausreichender Zuverlässigkeit gegeben sein. Bei den Analysen gegebenenfalls resultierende numerische Verletzungen dieser Kriterien sind in ihrer Relevanz zu bewerten.

Weiter sind ggf. Referenzmodelle (z. B. Referenzbiosphäre) für den Zeitraum zu verwenden, für den die Unsicherheit der Eingangsdaten und Rechenmodelle hoch ist. Für diesen Zeitraum sind ergänzend auch qualitative Argumente heranzuziehen.

- 7.4 Anhand eines Kontroll- und Beweissicherungsprogramms während des Einlagerungsbetriebs, der Stilllegung und in einem begrenzten Zeitraum nach Stilllegung ist nachzuweisen, dass die Eingangsdaten, Annahmen und Aussagen der für diese Phase durchgeführten Sicherheitsanalysen und Sicherheitsnachweise eingehalten werden. Dieses Messprogramm hat insbesondere die Auswirkungen der thermomechanischen Reaktionen des Gebirges auf die wärmeentwickelnden Abfälle, die technischen Maßnahmen sowie die gebirgsmechanischen Vorgänge zu erfassen. Die Messungen umfassen weiterhin den Ausgangszustand und die Entwicklung der Aktivitätskonzentration in Quell- und Grundwässern, Böden, Gewässern und in der Luft im Einflussbereich des Endlagers. Wesentliche Abweichungen von diesbezüglichen Daten, Aussagen und Annahmen der genannten Sicherheitsnachweise sind hinsichtlich ihrer Sicherheitsrelevanz zu bewerten. Notwendigenfalls sind vom Betreiber bei der Einlagerung oder Stilllegung Gegenmaßnahmen durchzuführen, um eine Beeinträchtigung wesentlicher Sicherheitsfunktionen zu vermeiden. Soweit für diese Gegenmaßnahmen eine Genehmigung erforderlich ist, ist diese bei der zuständigen Behörde zu beantragen. Diese Behörde entscheidet auch, wer das Messprogramm nach der Stilllegung durchführt und wann dieses Messprogramm beendet wird.
- 7.5 Unter Zugrundelegung der Eigenschaften der angefallenen bzw. noch anfallenden radioaktiven Abfälle und zweckmäßiger Konditionierungsverfahren sind die sicherheitsrelevanten Eigenschaften der endzulagernden Abfallgebinde vom Betreiber des Endlagers aus den Sicherheitsanalysen abzuleiten und in Endlagerungsbedingungen umzusetzen.
- 7.6 Für die Einhaltung dieser Endlagerungsbedingungen sind die Ablieferungspflichtigen verantwortlich. Für den Nachweis der Einhaltung der Endlagerungsbedingungen gelten folgende Regelungen:
- Die Ablieferungspflichtigen stellen sicher, dass die Abfallgebinde die in den Endlagerungsbedingungen geforderten Eigenschaften aufweisen und ermitteln die gemäß Endlagerungsbedingungen anzugebenden Abfalldaten.
  - Die Gültigkeit dieser Eigenschaften und Abfalldaten wird vom Betreiber des Endlagers im Rahmen der Produktkontrolle überprüft. Diese Prüfung erfolgt



aus Strahlenschutzgründen und Zweckmäßigkeitserwägungen grundsätzlich im Vorfeld der Einlagerung und außerhalb des Endlagers.

- Der Endlagerbetreiber überprüft im Rahmen der Eingangskontrolle die Identität der Abfallgebinde sowie für den Strahlenschutz bzw. die Handhabung der Abfallgebinde im Endlager wesentliche Eigenschaften.

- 7.7 Bei der Erkundung sind vom Antragsteller die für die Sicherheit des Endlagers wesentlichen Standortdaten in einem für die Sicherheitsnachweise ausreichendem Umfang zu ermitteln. Hierfür ist auch die Genauigkeit oder Bandbreite sowie eine mögliche Veränderung dieser Standortdaten unter Endlagerbedingungen zu ermitteln. Der Antragsteller hat der Genehmigungsbehörde die Gültigkeit dieser Daten nachzuweisen. Soweit an anderen Standorten ermittelte Daten verwendet werden, ist die Übertragbarkeit dieser Daten zu begründen.
- 7.9 Es ist zu untersuchen, inwieweit natürlich im Endlagersystem vorkommende radioaktive oder sonstige grundwasser- oder bodenrelevante Stoffe mobilisiert werden können und inwieweit Grundwasserströme in sicherheitsrelevantem Umfang verändert werden könnten. Dies könnte zum Beispiel aufgrund der hohen Wärmeleistung der eingelagerten Abfälle oder aufgrund veränderter geochemischer Bedingungen der Fall sein.

Im Langzeitsicherheitsnachweis sind Freisetzungen von Radionukliden aus natürlich vorkommenden Materialien (Versatz und Gebirge) gesondert von Freisetzungen von Radionukliden aus den endgelagerten Abfällen zu bewerten.

## 8. Endlagerauslegung

- 8.1 Für die Sicherheit des Endlagers in der Betriebsphase einschließlich Stilllegung ist die Zuverlässigkeit und Robustheit von Sicherheitsfunktionen innerhalb des Endlagers in Anlehnung an das kerntechnische Regelwerk für vergleichbare Funktionen in anderen kerntechnischen Anlagen nachzuweisen. Für die Betriebsphase sind darüber hinaus in vier Sicherheitsebenen gestaffelte Maßnahmen zu planen, wie dies analog auch für Kernkraftwerke gilt. Durch die Zuordnung dieser vier Ebenen zu Anlagenzuständen und durch die Festlegung der für diese Anlagenzustände zu ergreifenden oder vorgesehenen Schutzmaßnahmen ist ein Konzept in der Tiefe gestaffelter Abwehrmaßnahmen (defence in depth) zu realisieren.

Folgende vier Sicherheitsebenen sind zu betrachten:

Normalbetrieb	- Maßnahmen verhindern Eintreten von Betriebsstörungen
Anomaler Betrieb	- Maßnahmen verhindern Eintreten von Auslegungsstörfällen
Auslegungsstörfälle	- Maßnahmen beherrschen Auslegungsstörfälle
Auslegungsüberschreitende Störfälle/Ereignisse	- Maßnahmen verringern die Eintrittswahrscheinlichkeit oder vermindern Umgebungsauswirkungen

Im Sicherheitskonzept ist darzulegen und zu begründen, welche Betriebsstörungen und Störfälle im Endlager auftreten können. Die Entscheidung, welche Ereignisse als Auslegungsstörfälle im Sinne des § 49 StrlSchV zu bewerten sind,

hat sich insbesondere an den Ergebnissen der Sicherheitsanalyse und an den Auswirkungen in der Umgebung des Endlagers zu orientieren. Es ist darzulegen gegen welche Störfälle das Endlagersystem ausgelegt ist. Menschliches Fehlverhalten ist bei der Analyse der Störfallmöglichkeiten zu berücksichtigen.

Ereignisse, die wegen ihrer geringen Eintrittshäufigkeit nicht als Auslegungstörfälle einzustufen sind, sind zu bewerten und gegebenenfalls Maßnahmen zur Verringerung ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit bzw. ihrer Auswirkungen vorzuschlagen.

- 8.2 Die Durchörterung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit Schächten, Auffahrungen oder Bohrungen ist zu minimieren. Bohrungen, Schächte und weitere Auffahrungen sind gebirgsschonend auszuführen und, falls sie nicht mehr gebraucht werden, vor dem Einlagerungsbetrieb so zu verschließen, dass die Barriereigenschaften des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs und sonstiger sicherheitsrelevanter Barrieren erhalten bleiben.
- 8.3 Bei der Festlegung der Grenzen des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit den darin aufgefahrenen Einlagerungsfeldern und Einlagerungskammern oder Einlagerungsbohrlöchern müssen sowohl eine hinreichende Tiefenlage wie auch ein ausreichender Abstand zu geologischen Störungen eingehalten werden. Die Tiefenlage und der Abstand sind im Rahmen der durchgeführten Sicherheitsanalysen und Sicherheitsbewertungen abzuleiten.
- 8.4 Die Handhabung von Abfallgebinden ist möglichst vollständig von den z. B. für Erhalt, Auffahrung oder Versatz von Stollen erforderlichen bergmännischen Arbeiten zu trennen.
- 8.5 Das Endlager ist in Einlagerungsfelder mit einzelnen Einlagerungsbereichen zu untergliedern. Die Anzahl der offenen Einlagerungsbereiche ist gering zu halten. Diese sind zügig zu beladen, anschließend zu verfüllen und sicher gegen das Grubengebäude zu verschließen.
- 8.6 Abfallbehälter müssen unter Berücksichtigung der darin verpackten Abfallprodukte und des sie umgebenden Versatzes folgende Sicherheitsfunktionen erfüllen:
  - 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. Dabei ist die Vermeidung von Freisetzungen radioaktiver Aerosole zu beachten.
  - 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.

- 8.7 Das Einschlussvermögen des Endlagers muss auf verschiedenen Barrieren mit unterschiedlichen Sicherheitsfunktionen beruhen. Mit Blick auf die Zuverlässigkeit des Einschlusses ist das Zusammenspiel dieser Barrieren in ihrer Redun-

danz und Diversität zu optimieren. Dabei sind das Gefährdungspotenzial der Abfälle und die unterschiedliche Wirkung der Barrieren in den verschiedenen Zeitbereichen zu berücksichtigen. 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.

- 8.8 Vor Inbetriebnahme des Endlagers muss ein umsetzbares und geprüftes Stilllegungskonzept vorliegen. Es muss dafür gesorgt sein, dass die personellen, finanziellen und technischen Gegebenheiten eine eventuell notwendige kurzfristige Umsetzung des Stilllegungskonzeptes ermöglichen. Das Stilllegungskonzept ist im Rahmen der alle zehn Jahre stattfindenden Sicherheitsüberprüfungen entsprechend dem Stand von Wissenschaft und Technik zu überprüfen und Notwendigenfalls fortzuentwickeln. Es muss dargelegt werden, innerhalb welchen Zeitraumes ein Verschluss möglich ist.

## 9. Sicherheitsmanagement

- 9.1 Folgende übergeordnete Aspekte des Sicherheitsmanagements sind zu beachten:
- Die Gewährleistung der Betriebssicherheit über alle Verfahrensschritte und der dauerhaften passiven Sicherheit des Endlagersystems nach dem Verschluss als oberstes Sicherheitsziel,
  - die Kontinuität aller für die erfolgreiche Durchführung des Endlagerprojektes erforderlichen Prozesse und Strukturen sowie Ressourcen über mehrere Generationen auch unter sich ändernden organisatorischen, nationalen und internationalen Randbedingungen,
  - die Eindeutigkeit und Klarheit von Zuständigkeiten und Verantwortungsregelungen sowohl intern wie auch zwischen den Beteiligten,
  - die Schaffung und Erhaltung eines geeigneten Umfeldes für die Gewinnung, Verfolgung, Bewertung und Umsetzung für das Endlagerprojekt relevanter wissenschaftlicher Erkenntnisse und Einschätzungen,
  - die Sicherstellung von Finanzierung und Organisation, auch für Zeiträume, in denen die Abfallverursacher möglicherweise nicht mehr existieren,
  - die rechtzeitige Beachtung möglicher Einflüsse, die zu Verzögerungen des Endlagerprojektes führen können (z. B. ungeplanter Nachweisbedarf, neue technische Entwicklungen, geänderte Sicherheitsanforderungen).
- 9.2 Der Antragsteller/Betreiber hat ein Sicherheitsmanagement einzurichten, das während allen Phasen des Endlagerprojektes bis zum Abschluss der Stilllegung aufrechterhalten wird. Es gibt der Gewährleistung und stetigen Verbesserung der Sicherheit oberste Priorität gegenüber anderen Managementzielen und unterstützt die Entwicklung und den Erhalt einer hohen Sicherheitskultur.

Das Sicherheitsmanagement muss so beschaffen sein, dass ein hohes Vertrauen in die Qualität der Organisation sowie in die Einhaltung aller Sicherheitsanforderungen und der bestehenden Grenzwerte, Richtwerte und Kriterien gerechtfertigt

tigt ist. Es muss sicherstellen, dass das Sicherheitsniveau der Betreiberorganisation vor dem Hintergrund des fortschreitenden Informationsstands von allen Beteiligten kontinuierlich bewertet werden kann.

Die Verantwortung für die Implementierung, Durchführung und Förderung des Sicherheitsmanagements liegt bei der Leitung der Betreiberorganisation. Die verschiedenen Ebenen des Managements der Organisation haben das Sicherheitsmanagement zu fördern und zu unterstützen.

- 9.3 Zur Realisierung des Sicherheitsmanagements muss ein Sicherheitsmanagementsystem eingerichtet werden. Es muss alle Festlegungen, Regelungen und organisatorischen Hilfsmittel zur Abwicklung sicherheitsrelevanter Tätigkeiten und Prozesse beinhalten. Dabei sind alle Elemente nachvollziehbar abzuleiten und zu begründen. Wechselwirkungen, Schnittstellen und Abgrenzungen zwischen verschiedenen Prozessen sind nachvollziehbar zu gestalten und zu beschreiben.

Das Sicherheitsmanagementsystem ist ein integraler Bestandteil des Gesamtmanagementsystems. Es muss den Anforderungen des Standes von Wissenschaft und Technik sowie den einschlägigen Vorschriften entsprechen. Dieses integrierte Sicherheitsmanagementsystem und die durchgeführten Prozesse müssen nachprüfbar dokumentiert werden.

Das Sicherheitsmanagement muss als lernendes System aufgebaut sein. Es muss regelmäßig überprüft werden, insbesondere

- durch unabhängige interne und externe Überprüfungen des Managementsystems,
- durch systematische Vergleiche mit anderen Anlagen und Betreibern auch aus anderen Bereichen.

- 9.4 Die Organisationsstruktur des Antragstellers / Betreibers muss an den Sicherheitszielen ausgerichtet sein. Sie muss

- klare Verantwortlichkeiten für Inhalte und Prozesse festlegen,
- die schrittweise Optimierung des Projekts unter Berücksichtigung des kontinuierlichen Informations- und Erkenntnisgewinns fördern,
- den internen und externen, disziplinären und interdisziplinären Austausch unterstützen,
- einen transparenten Ansatz bei der Gewinnung, Verarbeitung und Dokumentation von Daten und Ergebnissen verfolgen und
- selbstkritisches Verhalten und eine kritisch hinterfragende Grundhaltung aller Mitarbeiter sowie den vertrauensvollen Umgang in allen Bereichen innerhalb der Organisation fördern.

Für jedes dieser Ziele ist niederzulegen, wodurch und wie es gefördert werden soll und an welchen Kriterien der Erfolg gemessen wird. Die dazu durchgeführten Prozesse sind zu dokumentieren.

- 9.5 Hinsichtlich des Personals muss das Sicherheitsmanagement gewährleisten:

- Personen dürfen nur mit solchen Aufgaben betraut werden, für die sie ausgebildet und kompetent sind. Dies gilt für alle Stufen der Verantwortlichkeit. Hierzu sind für jede Tätigkeit mit Sicherheitsrelevanz klare Anforderungsprofile zu erstellen einschließlich der Kriterien, anhand derer die jeweiligen Kompetenzen beurteilt werden. Es muss dokumentiert werden, wie die konkreten Stellungsinhaber diese Anforderungsprofile erfüllen.
- Für jede sicherheitsrelevante Aufgabe müssen geeignete Personen in hinreichender Anzahl eingesetzt werden. Die jeweils hinreichende Anzahl ist zu ermitteln und zu dokumentieren.
- Für jede sicherheitsrelevante Aufgabe müssen rechtzeitig geeignete Personen zur Verfügung stehen, die ausscheidendes Personal (Fluktuation, Ruhestand) ersetzen können. Hierzu sind in regelmäßigen Abständen vorausschauende Analysen zu erstellen und daraus geeignete Maßnahmen abzuleiten und durchzuführen. Besonderes Augenmerk ist auf eine optimierte Gestaltung des Übergangs, z. B. hinsichtlich Wissenstransfers, zu legen.
- Alle Personen müssen ihre Kenntnisse und Qualifikationen durch geeignete Fortbildungsmaßnahmen erhalten und fortentwickeln. Hierzu sind Fortbildungsprogramme entsprechend den spezifischen Notwendigkeiten der jeweiligen Aufgaben aufzustellen. Die Durchführung der Fortbildung ist zu dokumentieren.

- 9.6 Die Anforderungen an das Sicherheitsmanagement gelten grundsätzlich auch für externe Organisationen, die als Fremdfirmen, Lieferanten oder Auftragnehmer für den Antragsteller/Betreiber tätig sind, entsprechend deren jeweiliger Art der Tätigkeit für den Antragsteller/Betreiber. Die vertraglichen Regelungen zwischen dem Antragsteller/Betreiber und von ihm beauftragten Fremdfirmen, Lieferanten und Auftragnehmern müssen entsprechende Festlegungen zum Sicherheitsmanagement und zu dessen Überprüfung durch den Auftraggeber enthalten.

Der Antragsteller/Betreiber hat sich regelmäßig zu versichern, dass von ihm beauftragte Organisationen die entsprechenden Anforderungen an das Sicherheitsmanagement einhalten und die vereinbarten Leistungen, Tätigkeiten und Produkte mit der erforderlichen Qualität bereitstellen.

Der Antragsteller/Betreiber muss organisationsintern jederzeit die erforderlichen Kapazitäten an geeignetem Personal bereitstellen, das die Leistungen, Tätigkeiten und Produkte von für den Antragsteller/Betreiber tätigen externen Organisationen unter den Aspekten des Sicherheitsmanagements fachkundig beurteilen und steuern kann.

- 9.7 Nach der Stilllegung des Endlagers sind Beweissicherungsmaßnahmen sowie Kontrollmaßnahmen durchzuführen. Es ist rechtzeitig vor Abschluss der Verschlussarbeiten festzulegen, welche Maßnahmen durchzuführen sind, welche Organisation diese durchführt und mit welchen Ressourcen dies versehen wird.

Für die Zeit nach erfolgtem Verschluss sind administrative Vorkehrungen zu treffen, die so effektiv wie praktisch erreichbar bewirken, dass keine den dauerhaften Einschluss der Abfälle gefährdenden menschliche Aktivitäten im Bereich des Endlagers durchgeführt werden. Diese Maßnahmen müssen außerdem so konzipiert sein, dass sie möglichst lange in die Zukunft wirksam bleiben.

## 10. Dokumentation

10.1. Alle für Sicherheitsaussagen und für zukünftig zu treffende Beurteilungen und Entscheidungen relevanten Daten und Dokumente sind bis zum Abschluss der Stilllegung zu dokumentieren. Dazu gehören insbesondere:

- die markscheiderischen Daten des Endlagers, einschließlich ihrer historischen Entwicklung,
- alle relevanten Informationen über die einzelnen eingelagerten Abfälle einschließlich ihrer sicherheitstechnisch bedeutsamen Eigenschaften,
- die geplanten und getroffenen technischen Maßnahmen bei Errichtung, Einlagerungsbetrieb und Stilllegung des Endlagers,
- die Ergebnisse aller Messprogramme,
- alle getroffenen Prognosen für Entwicklungen im Endlagerbergwerk und dessen Umgebung,
- alle geführten Nachweise für Betriebssicherheit und Langzeitsicherheit.

Jede Teildokumentation muss mindestens die jeweiligen Vorgänge, Daten und Ergebnisse, die zugrunde liegenden Annahmen und Randbedingungen, eine Dokumentation der verwendeten Rechenprogramme und den Gang der Ableitung der Ergebnisse enthalten.

Der Dokumentensatz ist regelmäßig zu aktualisieren, dabei sind überholte Teildokumente in geeigneter Form als Teil des Dokumentensatzes zu belassen.

Bei Form und Ort der Aufbewahrung ist dafür Sorge zu tragen, dass alle Dokumentensätze jederzeit mit aktuell verfügbarer Technik ohne erheblichen Aufwand zugänglich sind. Das Prinzip der Diversität ist zu beachten.

10.2. Für die Zeiten nach Verschluss des Endlagers sind vor Stilllegung des Endlagers Regelungen für Umfang, Erhalt und Zugänglichkeit der aufzubewahrenden Dokumentation durch den Bund im Benehmen mit der Genehmigungsbehörde zu treffen. Die nach Verschluss des Endlagers aufzubewahrende Dokumentation muss alle Daten und Dokumente aus der während des Betriebs fortgeschriebenen Dokumentation enthalten, die für die Information zukünftiger Generationen relevant sein könnten. Hierzu gehören insbesondere Informationen darüber, welcher Bereich in der Umgebung des Endlagerbergwerks vor menschlichen Eingriffen in den tiefen Untergrund geschützt werden muss bzw. welche Eingriffe mit besonderen Auflagen versehen werden müssen.

Vollständige Dokumentensätze sind bei mindestens zwei unterschiedlichen geeigneten Stellen aufzubewahren.